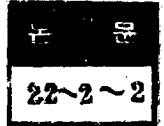


琥珀雲母의 絕緣破壞特性에 미치는 熱處理의 影響에 관한 研究



A Research on the Effects of Heat treatment on the Breakdown Characteristics of Amber Mica

정 성 제*
(Sung Kae Chung)

Abstrat

The contents of this paper are the effects of heat treatment on the breakdown strength of Amber Mica. In this study the breakdown strength of Amber Mica of which thickness is about 0.2~0.5(mm) was found to be raised by approximately 10% when it is heat treated at proper temperature and during suitable interval of time. Furthermore, both the heat-treatment temperature and time interval are higher and longer respectively within some extent, the more breakdown strength increasing effects are able to be expected. The results of this experiments are explained qualitively by the existence of contained gas, Hippel's breakdown theory in crystal solid insulator, and disorder of crystal structure.

1. 緒 言

雲母는 우수한 電氣絕緣特性을 가진 天然産의 結晶絶緣物이며, 얇은 層으로 벗길 수가 있고, 耐熱性이 풍부하며, 化學的으로도 安定하다는 것등의 特徵이 있기 때문에, 電氣絶緣材料로서 극히 중요한 材料中の 하나임은 다 잘 아는 바이다. 雲母에는 여러가지 종류가 있으나, 그 중에서 현재 電氣絶緣材料로 使用되고 있는 것은 마스코사이트(白雲母)와 프로그파이트(琥珀雲母)의 두 종류이다. 白雲母는 다른 종류의 마이카에 비하면 硬度 또는 化學的 抵抗性 및 電氣的 絶緣性은 우수하나 耐熱性은 그다지 좋지 않다. 한편 琥珀雲母는 耐熱性, 可撓性은 풍부하나 電氣的 絶緣特性은 白雲母에 비하여 많이 떨어진다. 지금 많은 實驗結果의 平均을

살펴 보면, 0.1mm두께에서의 交流絶緣破壞는 白雲母에서 120kV/mm정도인데, 琥珀雲母에서는 90kV/mm 정도에 불과하고, 또 0.2mm두께에서의 그것은 각각 90 및 70kV/mm정도로, 琥珀雲母가 白雲母보다 그 電氣絶緣特性에 있어서 얼마나 떨어졌가를 엿볼 수 있다.

筆者는 이러한 見地에서 琥珀雲母의 脫水溫度가 상당히 높다는 것을 이용하여 이것을 적당히 熱處理함으로서 그 絶緣破壞特性을 白雲母의 特性정도로 개선할 수 있다는 것을 實驗的으로 확인하고, 이에 대한 定性的인 理論的 考察을 試圖해 보았다. 이 研究結果는 琥珀雲母의 熱處理에 의하여, 그 自體의 絶緣破壞特性은 물론, 그 合成 또는 加工製品의 絶緣破壞特性도 改善될 수 있다는 것을 명백히 하여 준다.

2. 試料 및 實驗裝置

(1) 試 料

* 정회원 : 서울대학교 공과대학 교수(공학박사)

試料로서 캐나다產의 琥珀雲母를 사용한다. 두께 0.2~0.5mm 정도의 이 생마이카의 薄層을 直徑 2cm 정도의 圓板形으로 切斷한 것을 試料로 한다. 이와 같이 하여 만든 여러개의 圓板形試料의 表面을 깨끗이 한 다음, 이들을 積層해 놓고 수십kg 정도의 荷重으로 약 15日間정도 加壓하여 아주 扁平한 試料로 한다. 다음에 이것을 電氣爐內에서 600~900°C 정도의 범위내에서 熱處理하여 供試片으로 한다. 熱處理溫度는 600, 700, 800, 900°C로 하고, 熱處理時間은 1, 2, 3, 4時間으로 한다. 熱處理後에는 1日쯤 放置하여 冷却시킨다. 그림 1은 이와 같은 試料의 모양을 표시한다.

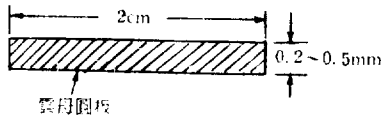


그림 1. 圓板形雲母試料
Fig. 1. Mica test piece.

(2) 實驗裝置

그림 2는 本 研究에 사용된 實驗裝置를 표시한다. 電極은 平板對球電極으로 하고, 平板電極의 直徑은 3cm, 球電極의 直徑은 1cm이다. 球電極과 雲母板사이의 接觸을 좋게 하기 위하여 적당한 重錘W를 球電極에 작용시킨다. 球電極을 사용한 것은 媒質效果를 완화시키기 위한 것이며, 또 그렇게 큰 效果는 기대할 수는 없으나, 가급적 完善을 기하기 위하여, 絶緣油에 3氣壓 정도의 壓力을 가하고, 絶緣油로서 비교적 導電率이 높

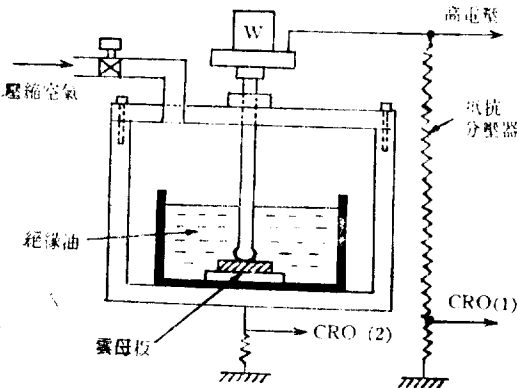


그림 2. 實驗裝置
Fig. 2. Device for experiment.

은 키시돌油를 사용함으로써 媒質效果의 影響을 더욱 없애도록 한다. 印加電壓은 交流 60Hz의 高電壓이며, 電壓은 抵抗分壓器에 연결된 CRO(1)로 測定하고, 試料의 絶緣破壞는 CRO(2)로 判斷하도록 한다. 그림 2의 容器는 전부 유리製品이며, 内部가 잘 들여다 보이도록 되어 있다.

3. 實驗方法 및 結果

(1) 實驗方法

試料는 實驗前에 絶緣油中에 잘 담구어 둔 다음 꺼내어 그림2의 位置에 장치한다. 實驗時의 室溫은 20°C內外이며, 試料는 전부 常溫에서 實驗한다. 電壓印加速度는 3,000V/sec정도로 하고, CRO(2)의 電流가 急增하는 순간의 CRO(1)의 電壓을 읽어, 이 測定值을 絶緣破壞電壓值로 하여, 이것을 試驗의 두께로 나누어 測定된 試料의 絶緣破壞強度로 한다. 熱處理를 하지 않은 試料에 있어서는 거의 동일한 두께의 試料에 대하여, 또 熱處理를 한 試料에 있어서는 거의 동일한 두께 및 전혀 동일한 熱處理條件下의 試料에 대하여 各各 3回式 絶緣破壞強度를 測定하여, 이들의 平均值로서 그 두께 또는 그 熱處理條件下에서의 實驗值로 한다. 絶緣이 破壞된 試料에 대하여는 그 破壞位置와 樣相을 肉眼으로 觀察한다.

(2) 實驗結果

그림 3은 두께에 따른 白雲母, 琥珀雲母, 및 900°C의 溫度로 4時間동안 熱處理한 琥珀雲母의 絶緣破壞強度를 나타낸 實驗結果이다. 여기서 白雲母에 대한 特性은 過去の 많은 實驗結果를 종합한 것이다. 그림에서와 같이 琥珀雲母를 熱處理하면 그 絶緣破壞強度가

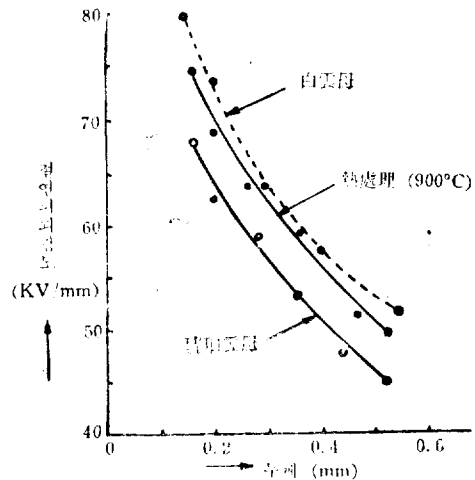


그림 3. 琥珀雲母의 熱處理效果
Fig. 3. Heat treatment effects of Amber mica.

0.2~0.5mm의 두께의 범위내에서 약 10%정도 上昇한다는 것을 알 수 있다. 그러나 白雲母보다는 약간 떨어진다. 일반적으로 두꺼운 것이 熱處理에 의한 絶緣破壞強度의 上昇率이 좀 높아지는 경향이 약간 있다. 다음에 그림 4는 熱處理時間에 따라 絶緣破壞強度가 변화하는 모양을 나타낸 實驗結果로서, 熱處理時間이 길

수록, 또 熱處理溫度가 높아질수록 絶緣破壞強度가 더 올라간다는 것을 알 수 있다. 따라서 熱處理溫度가 낮

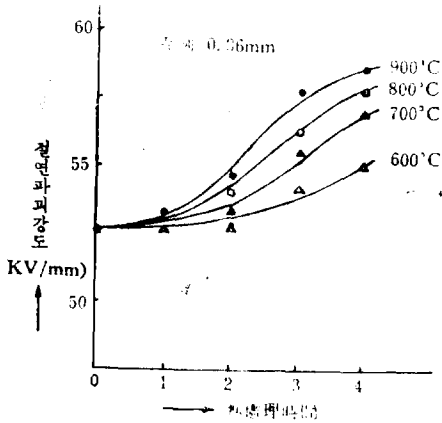


그림 4. 熱處理時間과 絶緣破壞電壓
Fig. 4. Breakdown strength vs time interval of heat treatment.

으면 동일한 絶緣破壞強度를 얻는데 더 많은 熱處理時間이 所要됨을 알 수 있다. 또 熱處理溫度가 낮으면 熱處理時間에 따른 絶緣破壞強度의 上昇이 더 완만하게 된다. 實驗特性的 模樣으로 봐서 熱處理時間이 어느 정도이상 길어지면 絶緣破壞強度의 上昇은 飽和狀態에 도달하게 될 것이 예상되며, 이 飽和狀態가 되는 熱處理時間은 熱處理溫度가 낮아질수록 길어진다.

다음에 그림 5는 熱處理溫도와 絶緣破壞強度와의 관계를 熱處理時間을 媒介變數로 하여 나타낸 것이며, 그림 4로부터 얻은 實驗結果이다. 그림에서와 같이 熱處理時間이 짧으면 熱處理溫度를 높여도 絶緣破壞強度가 上昇하는 효과는 그다지 크지 않다. 또 熱處理溫度가

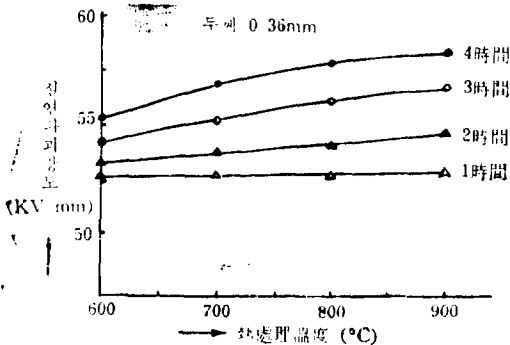


그림 5. 熱處理溫도와 絶緣破壞強度
Fig. 5. Breakdown strength vs heat treatment temperature.

높아지면 絶緣破壞強度의 上昇이 飽和狀態에 이르게 되는데, 이 飽和曲線은 琥珀雲母의 熱分解溫度附近까지 계속될 것이 예상되며, 熱分解溫度를 지나면 거의 脫水되어 그 결과 結晶이 파괴되어 버리므로 그 絶緣破壞強度가 急降下할 것으로 추측된다. 琥珀雲母의 熱分解溫度即 脫水溫度는 白雲母보다 훨씬 높으며, 보통 900°C이상으로 되어 있다.

本 實驗에 있어서 琥珀雲母의 絶緣破壞의 痕跡을 관찰해 보면, 熱的破壞의 痕跡은 없고, 전부 스트라이마型的 破壞痕跡을 나타내고 있으며, 따라서 破壞가 方向性을 갖기고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 그 痕跡은 매우 희미한 것이다.

4. 實驗結果에 대한 考察

琥珀雲母의 化學式은 $[KH(MgF)_3Mg_3Al(SiO_3)_2]$ 이며, 3%이하의 結晶水를 함유하고 있는 外에, 가스등의 不純物을 포함하고 있다. 琥珀雲母는 900~1,200°C에서 熱分解하여 거의 脫水되어 버리므로 그 결과 結晶이 파괴된다. 本 研究에 사용된 琥珀雲母試料의 熱分解溫度는 약 1,000°C정도이다. 琥珀雲母를 熱處理하면 實驗結果에서와 같이 그 絶緣破壞強度가 높아지는 理由로서, 첫째 加熱하면 水分과 가스를 발생한다는點, 둘째 熱處理에 의하여 Debye의 比熱理論에 있어서의 最大周波數²⁾가 증가한다는點, 셋째 熱處理를 하면 結晶의 不規則性이 감소한다는點등을 생각할 수 있다.

熱處理로서 水分이 一部 除去되기 때문에 絶緣破壞強度가 증가하게 된다는 것은 一般固體絶緣物에서 보통 있을 수 있는 일이다. 琥珀雲母의 경우는 그 熱分解溫度가 약 1,000°C이므로 그 이상의 溫度로 熱處理할 수는 없고, 實驗에서와 같이 900°C이하의 溫度로 熱處理하면 結晶水의 一部가 脫水하여 그 결과 絶緣破壞強度의 上昇 효과가 나타나는 것으로 생각된다. 또 熱處理에 의하여 琥珀雲母內의 가스가 除去되므로 그 가스內의 局部放電으로 인한 絶緣破壞強度의 低下現象이 방지되기 때문에 絶緣破壞強度가 改善된다고 볼 수 있다. 그런데 加熱로 인한 水分 및 가스의 發生이 絶緣破壞強度의 上昇 효과에 미치는 영향은 그렇게 크게 기대할 수는 없다. 왜냐 하면 琥珀雲母內의 結晶水는 보통 3%以內에 지나지 않으며, 또 가스등의 氣泡도 그렇게 많이 存在한다고 볼 수는 없기 때문이다. 그러나 水分 및 가스의 影響을 多少는 생각할 수 있으므로, 이것이 絶緣破壞強度의 上昇에 多少의 효과가 있음은 물론, 熱處理溫도와 時間에 따라 絶緣破壞強度의 上昇程度에 差異가 생기게 된다는 理由도 된다.

다음에 本 實驗에 사용된 琥珀雲母의 두께는 0.2~0.

5mm 정도의 얇은 試料이며, 또 常溫에서의 實驗임과 동시에, 絕緣破壞後의 痕跡도 電氣의 破壞의 樣相을 띠고 있으므로, 이들의 絕緣破壞는 熱的 破壞에 보다 電氣的 破壞에 依存한다고 보아도 된다. 또 過去의 文獻³⁾에도 雲母中の 局部破壞의 圖形이 그 結晶形과 일정한 관계가 있는 方向性을 갖는다는 것을 論하고 있는데, 이러한 사실을 參酌하여도 얇은 雲母의 常溫에서의 絕緣破壞는 純電氣的인 破壞라 생각할 수 있다. 더욱 琥珀雲母는 그 絕緣抵抗이 상당히 높고, 耐熱性이 풍부하다는 事實도 上記의 假定을 뒷받침하여 줄 수 있다.

Hippel⁴⁾에 의하면 結晶形 固體絕緣物의 絕緣破壞는 固體內的 自由電子에 의하여 일어난다고 하였다. 即 固體內的 電子는 電界로 인하여 가장 통하기 쉬운 方向으로 加速되어 그 速度가 Debye의 最大周波數²⁾에 상당한 速度以上으로 되면 電子의 衝突에 의한 電離作用이 일어나, 氣體에서와 동일한 機構로 固體內에서 絕緣破壞가 일어난다고 하였다. 그러므로 Debye의 比熱理論에 있어서의 最大周波數와 結晶體의 絕緣破壞強度와는 서로 밀접한 관계가 있으며, Hippel은 이러한 생각 아래 다음과 같은 絕緣破壞強度에 관한 式을 유도해 냈다.

$$E_m = \frac{h\nu_m}{ea_w} c \quad (1)$$

- 여기서 E_m = 結晶體의 最大絕緣破壞強度
- ν_m = Debye의 熱振動에 대한 最大周波數
- a_w = 結晶體의 空間格子의 最小距離
- e = 電子의 電荷
- h = Plank의 定數
- c = 係數

이다. 이하하여 琥珀雲母의 경우 이것을 熱處理하면 Debye의 比熱理論에서의 最大周波數 ν_m 가 증가한 결과 그 絕緣破壞強度가 (1)식에 표시된 바에 의하여 증가하는 것으로 생각된다. 더욱이 最大周波數의 變化가 熱處理溫도와 그 時間에 따라 달라짐으로 인해서 그림 4와 같은 實驗結果가 나타나는 것으로 생각된다.

끝으로 琥珀雲母를 熱處理하면 그 結晶의 不規則性이 是正되어 絕緣破壞強度가 개선된다는 사실을 생각할 수 있다. 結晶體中の 空間格子에 不規則한 곳이 있으면 (1)식에 있어서의 a_w 가 고르지 않을 것이나, 熱處理로서 이것이 고르게 되어 그 값이 특히 큰 곳이 없어져 結局 絕緣破壞強度가 上昇하는 結果를 招來한다고 볼 수 있다.

要是 上述한 세가지의 原因이 各各 單獨的으로 작용하여 絕緣破壞強度가 上昇한다고 생각하는 것보다, 세

가지 效果에 多少의 差異는 있을지 모르나, 이들 效果가 전부 또는 일부 나타나 實驗結果에서의 같은 熱處理로 인한 絕緣破壞強度의 上昇現象이 일어난다고 보는 것이 더 妥當한 것이다.

5. 結 論

琥珀雲母의 熱處理에 의한 絕緣破壞強度 上昇 實驗結果로부터 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

- (1) 琥珀雲母를 적당히 熱處理하면 그 絕緣破壞強度가 上昇한다.
- (2) 0.2~0.5mm 두께의 琥珀雲母에서 그 脫水溫度 即 熱分解溫度보다 약간 낮은 900°C로 4時間 정도 熱處理하면, 그 絕緣破壞強度는 約 10%쯤 上昇하여 白雲母의 그것과 비슷한 값으로 된다.
- (3) 琥珀雲母의 熱分解溫度以內的 범위에서는 熱處理溫도가 높고 熱處理時間이 길수록 絕緣破壞強度는 높아진다. 그러나 熱處理時間이 너무 길어지면 絕緣破壞強度의 上昇은 飽和狀態가 되어 더 이상 上昇하지 않는다.
- (4) 동일한 絕緣破壞強度를 熱處理에 의하여 얻을려고 하는 경우, 熱處理溫도가 낮을수록 熱處理時間이 길어지며, 絕緣破壞強度에는 어느 限度가 있다.
- (5) 琥珀雲母의 熱處理에 의한 絕緣破壞強度의 上昇現象은 熱處理로 인한 水分, 가스의 發生, Debye의 比熱理論에서의 最大周波數의 增加^{4,5)} 및 結晶體內的 不規則性의 減少등을 考慮함으로써 어느 程度 定性的으로 그 原因을 說明할 수 있다.
- (6) 本 研究에 있어서의 더 자세한 理論的 考察에 대하여는 앞으로 더 깊은 研究가 必要하다.

끝으로 本 研究는 1972年度 文敎部 研究助成費의 支援를 얻어 行해진 것이며, 이點 文敎當局에 謝意를 表하는 바이다.

참 고 문 헌

- (1) 電氣材料便覽 : p.116, 日本電氣學會.
- (2) Ann.d. Phys.: Bd.39, 1912, P.Debye.
- (3) 電氣絕緣論 : p.224, 鳥山四男.(日本).
- (4) Zs. f. Phys: Bd. 75, p.145, 1932, A. v. Hippel.
- (5) High Voltage Technology: p.149, L.L. Alston, Oxford University Press, 1968.