

成層 絶緣物の 絶緣破壊電壓에 關한 研究

(Study on the Break-down Voltage of laminated Insulators)

李 啓 浩*
(K. H. Lee)

ABSTRACT

Laminated insulators are largely used in the insulation of electric apparatus. This reason is based on the fact that the solid state insulators meet to electrical break-down by the weak spot theory. Thus the break-down voltage of the laminated insulators are generally affected by the density, distribution and the form of the weak-spot contained in the each laminated thin insulator. In this experiment the effects of the characteristics of weak spots are not studied, but the effects of the number of lamination and the pressure applied on the laminated insulator on its break-down voltage are investigated experimentally, and got some interesting results which are reported as follows.

1. 序 論

一般的으로 高電壓 電氣機器의 絶緣에 固體 成層絶緣物이 많이 使用되고 있는데, 이것은 固體 絶緣物이 破壞되는 것은 그 속에 있는 weak spot에 起因한다는 이른바 weak spot theory에 그 根據가 있다는 것이 널리 알려져 있다. 卽 實際의 固體 絶緣物은 그 質이 均一하지 않다. 이것은 電極 面積이 넓을 수록 그 破壞電壓이 低下하는 事實로 부터 입증된다. 그러므로 한장의 板狀 絶緣物을 使用하는 것 보다 여러 장 成層한 것을 使用하면 絶緣의 弱點(weak spot)이 電極間에 연속되어 存在하는 일이 생기지 않으며, 따라서 얇은 것 보다 質이 均一한 것을 얻을 수 있고, 또 얇은 板狀으로 하면 比較的 質이 均一한 것을 만들 수 있다. 그러므로 얇은 板狀 絶緣物을 成層하여 使用하면 絶緣이 強化된다. 그러나 成層 絶緣物의 絶緣破壊電壓은 그 各 構成要素인 板狀 絶緣物 內에 包含되어 있는 弱點의 密度, 分布狀態 및 그 形態에 따라 變化할 것은 勿論이다. 本 實驗 研究에서는 이러한 弱點의 特性이 成層 絶緣의 破壞電壓에 미치는 形響을 밝

기는 것이 아니고, 板狀 絶緣物의 成層 枚數와 成層 絶緣物에 加해지는 壓力이 그 破壞電壓에 어떠한 影響을 주는가 하는 것을 調査 究明하는 데 그 目的이 있다. 이러한 問題는 電氣機器의 絶緣에 成層 絶緣物을 使用하는 경우 그 成層 枚數에 따라 그 破壞電壓이 어떻게 變化하는가, 또는 成層 絶緣物에 加해지는 壓力, 卽 板狀 絶緣物을 導體에 감을 때의 壓力이 그 破壞電壓에의 어떠한 影響을 미치는가 하는 것에 깊은 關係가 있는 問題이며 여기서 얻은 實驗結果는 電氣機器의 絶緣에 成層 絶緣物을 使用하는 경우를 參考가 될 것이며 또 그 絶緣 設計 方針에 좋은 資料가 될 것으로 생각되므로 여기에 그 研究 結果를 報告한다.

2. 實驗 裝置 및 實驗 方法

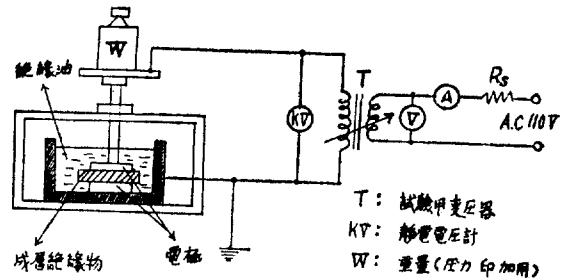


그림 1. 實驗 裝置 및 回路

그림 1은 本 實驗 研究에 使用한 裝置와 回路를 表示한다. T는 試驗用 變壓器(110/0~40,000 V), KV는 靜電 電壓計, W는 壓力印加用 重量이다. 그림에서와 같이 成層 絶緣物을 圓板狀 電極 사이에 놓고 이것에 交流 電壓을 印加하여 成層 絶緣物의 破壞電壓을 靜電 電壓計로 읽는다. 이 경우 成層 絶緣物에 絶緣油를 含浸시킨 경우와 含浸시키지 않은 경우의 두 경우에 對하여 實驗을 하되 重量 W를 變化시킴으로서 成層 絶緣物에 加해지는 壓力을 조정한다. 이 實驗에 使用한 板狀 固體 絶緣物로서는 變壓器 捲線의 成層 絶緣에 使用하는 얇은 두개의 그라프트紙 두種을 택하였다. 그 中 한 種은 얇고 연하며

*光州工高 教師·正會員

또 한 種은 좀 두껍고 단단한 것이다. 絶緣油를 含侵시킨 경우와 含侵시키지 않은 두 경우의 各各에 對하여 重量 W 을 變化시키므로서 成層 絶緣物에 加해지는 壓力을 變化시키되, 各 壓力에 對하여 成層 枚數를 增加시킨 경우의 絶緣破壞電壓을 測定하였다. 實驗에 있어서는 濕度의 影響을 除去하기 위하여 充分한 注意를 하였다.

絶緣油의 含侵, 非含侵의 경우를 막론하고, 沿面放電을 防止하기 위하여 油中 破壞試驗을 하였으며, 電壓의 上昇速度는 2000 V/秒 정도로 하였다.

本實驗 data는 各各의 경우 15~16回 測定한 平均値를 表示한다.

3. 實驗 結果

(1) 成層 枚數와 絶緣破壞電壓

表 1. 非含侵 試料 A

壓力 \ 枚數	1	2	4	6	7
0.5kg	4.0	5.0	6.0	6.5	6.7
5.0	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0
10.0	3.8	6.3	8.0	9.0	10.0
17.0	3.4	5.0	6.92	8.0	0.0
22.5	3.2	4.58	6.6	7.56	8.6

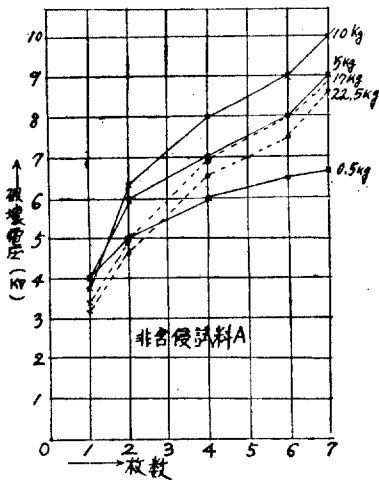


그림 2. 枚數와 破壞電壓

表 2. 非含侵 試料 B

壓力 \ 枚數	1	2	4	6	7
0.5kg	4.8	6.5	10.5	15.2	16.4
5.0	4.8	7.5	11.7	16.4	18.8
10.0	4.4	8.5	12.5	16.8	17.7
17.0	3.9	6.2	10.1	14.5	17.2
22.5	3.5	5.5	9.5	13.2	16.1

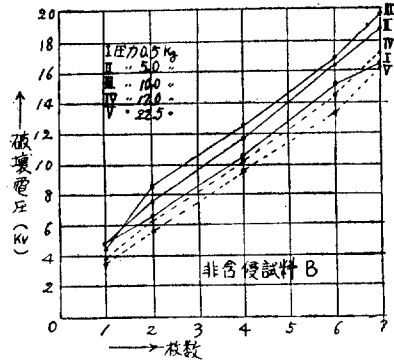


그림 3. 枚數와 破壞電壓

그림 2는 油非含侵의 試料 A(좀 얇고 軟한것), 그림 3은 油非含侵의 試料 B(좀 두껍고 단단한 것)에 대한 成層枚數와 破壞電壓 사이의 關係曲線이다. 이들 그림에서 보면 枚數가 增加하면 勿論 破壞電壓은 上昇하고 있으나, 壓力이 0.5kg의 경우에는 枚數가 增加함에 따라 破壞電壓의 上昇率이 점점 低下하고 있으며, 壓力이 5kg 以上에서는 枚數의 增加와 더불어 그 上昇率이 점점 높아져 가고 있음을 알 수 있다. 이 關係는 試料 A에서 특히 뚜렷하게 나타나 있다. 特히 注目되는 것은 1枚인 경우 試料 A에서나 B에서나 壓力 0.5kg에서는 破壞電壓이 一定하나 그 以上 壓力이 增加하면 破壞電壓이 低下하고 있다는 點이다. 試料 A에서는 曲線의 모양이 不規則하나 試料 B에서는 거의 規則的으로 되어 있고, 2~6枚 사이에서는 거의 直線으로 되어 있다. 또 枚數가 增加할 때 壓力에 따른 破壞電壓의 變化는 試料 A에서 더 심하게 나타나 있다.

表 3. 含侵 試料 A

壓力 \ 枚數	1	2	4	6	7
0.5kg	5.1	9.75	17.5	25.5	29.5
5.0	4.5	8.5	16.5	24.7	28.0
10.0	3.5	7.6	15.5	24.0	26.75
17.0	2.25	6.9	14.9	23.2	25.95
22.5	2.0	6.5	14.0	22.8	25.4

다음에 그림 4는 油含侵試料 A, 그림 5는 油含侵試料 B에 대한 枚數와 破壞電壓 사이의 關係曲線이며, 油含侵의 경우에는 아주 規則的이며, 1~6枚 사이에서는 전부 거의 直線的이고, 7枚 以上에서 直線이 좀 수 구러져 있다. 油含侵의 경우에는 枚數에는 不拘하고 壓力이 增加하면 破壞電壓은 一方的으로 減少할 뿐이다. 그러나 壓力의 增加에 따른 破壞電壓의 降下는 試料 A에서 심하다는 것을 알 수 있다.

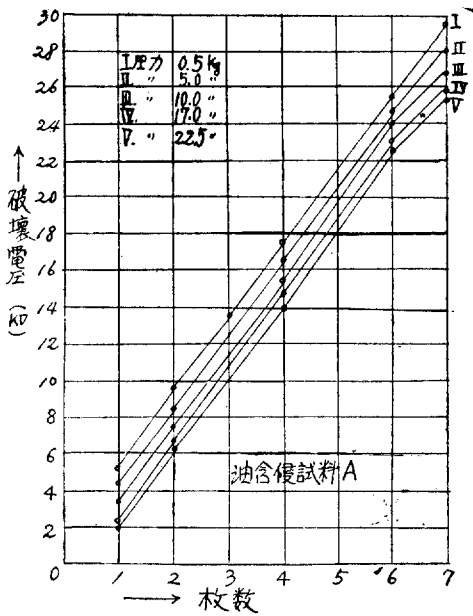


그림 4. 枚數와 破壤電壓

表 4. 含侵 試料 B

枚數 \ 壓力	1	2	4	6	7
0.5kg	5.75	10.85	21.54	30.1	33.06
5.0	4.97	10.5	21.0	29.75	32.5
10.0	4.52	10.25	20.5	29.25	32.1
17.0	3.76	10.5	20.0	28.9	31.5
22.5	3.4	9.8	19.7	28.5	31.25

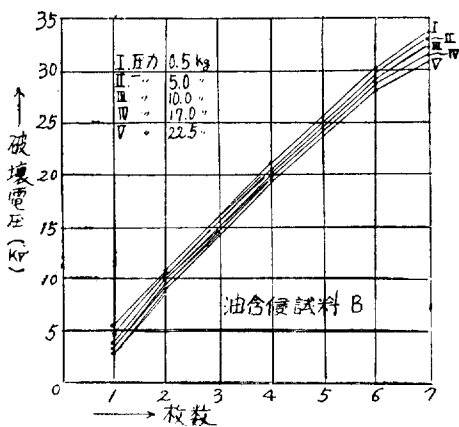


그림 5. 枚數와 破壤電壓

(2) 壓力과 絶緣 破壤電壓

그림 6, 7은 各各 油 非含侵의 試料 A 및 B에 對한 壓力과 絶緣 破壤電壓과의 關係曲線이다. 뚜렷한 特徵은 壓

力이 增加함에 따라 破壤電壓이 上昇한 後 壓力이 어느 程度 以上 增加하면 破壤壓力이 오히려 감소한다는 點이다. 그러나 成層 枚數가 1枚인 경우에는 破壤電壓은 一方으로 감소할 뿐이다. 이들 結果를 보면 枚數에는 關係없이 最大 破壤電壓을 나타내는 경우의 壓力의 크기에는 大略 變함이 없다가는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 6.7의 두 曲線의 모양으로 부터 판단하면 最大 破壤電壓을 나타내는 壓力이 B의 쪽이 좀 높다는 것을 推測할 수 있다. 또 壓力의 증가에 따른 破壤電壓의 증가는 試料 A가 더 심하다. 다음에 그림 8.9는 各各 油 非含侵의 試料 A와 試料 B에 對한 實驗結果인데, 이 경우에는 油 非含侵의 경우와는 아주 달리 破壤電壓은 壓力의 增加와 더불어 一方으로 감소하고 있다. 이 감소는 試料 A에서 더욱 심하게 나타나 있다.

또 試料 A에서나 B에서나 1枚의 경우를 除外하고는 各 枚數에 대하여 壓力에 따른 破壤電壓의 降下는 거의 一定하게 나타나 있다.

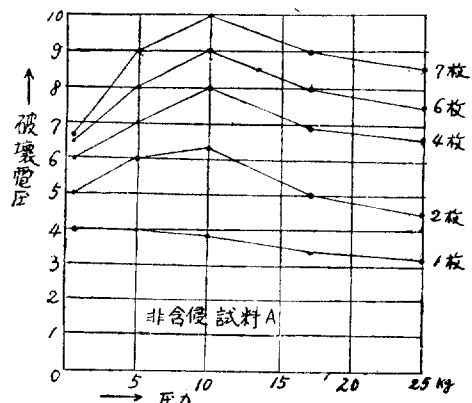


그림 6. 壓力과 破壤電壓

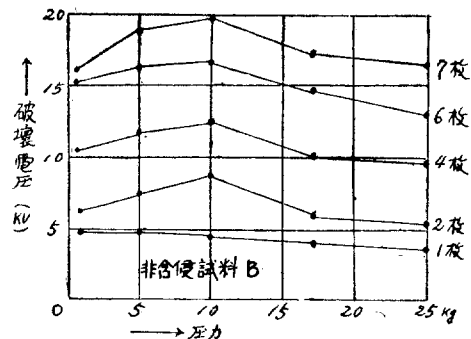


그림 7. 壓力과 破壤電壓

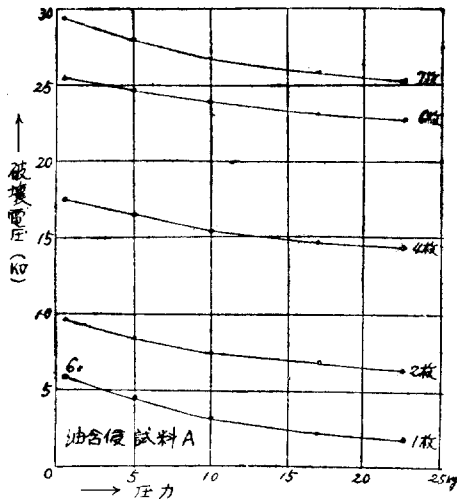


그림 8. 壓力과 破壊電壓

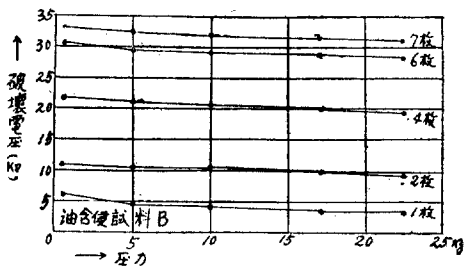


그림 9. 壓力과 破壊電壓

4. 實驗結果에 對한 檢討

그림 2, 3에서 枚數가 增加하면 破壊電壓이 增加하는 것은 枚數가 增加함에 따라 絶緣物의 두께가 增加하게 되므로 破壊電壓이 上昇하는 것은 勿論인데, 두 경우에 있어서 曲線이 不規則인 것은 成層사이의 空隙의 變化가 枚數에 따라 複雜하게 되기 때문이다. 試 A에서 더욱 不規則한 것은 이것이 試料 B보다 더 軟하고 表面이 粗하기 때문에 空隙의 모양의 變化가 枚數에 따라 A에서 보다 더욱 複雜하게 되기 때문이라고 생각된다. 試料 A에서는 表面이 圓滑하고 단단하기 때문에 枚數의 增加에 따른 空隙의 形態가 大略 一定하게 維持된다는 理由로 그림 3에서와 같이 比較的 規則的이며 大略 直線群으로 나타난다고 볼 수 있다. 그림 2, 3 특히 그림 2에서 壓力 0.5 kg인 경우 破壊電壓의 上昇率이 점점 低下하고 있는 것은 壓力이 적기 때문에 成層間의 空隙이 枚數의 增加에 따라 점점 많아지기 때문이라고 본다. 그러나 그림 2, 3에서 壓力이 5 kg 이상에서는 壓

력이 크므로 空隙이 적어져 이른바 空隙의 영향을 덜 받기 때문에 枚數 即 두께에 따라 破壊電壓의 上昇率이 점점 增加하게 된다고 볼 수 있다. 그림 2, 3에서 壓力이 0.5, 5 kg인 경우 1枚에 對하여 破壊電壓이 一定한 것은 1枚이기 때문에 空隙의 영향을 훨씬 덜 받게 될과 동시에 壓力의 差가 적어서 두께에 變化가 생기지 않는 까닭이며, 그 以上の 壓力에 對하여 破壊電壓이 低下하는 것은 壓力이 커서 壓縮으로 두께가 줄어들기 때문이라고 볼 수 있다. 또 枚數가 增加할 때 壓力에 따른 破壊電壓의 變化가 試料 A에서 더 심한 것은 前記한바와 같이 A는 粗面이고 軟하기 때문에 壓力이 增加하면 空隙이 없어지는 率이 B에서 보다 더 커지기 때문이다.

다음에 그림 4, 5에서의 關係曲線이 아주 規則的인 것은 이 경우에는 板狀 絶緣物이 油含浸되어 있기 때문에 空隙의 자리 대신 絶緣油가 들어 있게 되는 理由로 空隙의 영향이 전혀 없어져 破壊電壓이 거의 直線에 가까워진다. 即 成層 枚數 또는 두께에 比例하여 破壊電壓이 上昇하고 있다. 7枚 以上에서 曲線이 수구러져 있는데, 이것은 두께가 두꺼워져 破壊電壓이 두께의 平方根에 比例하는 範圍가 여기서 부터 始作되는 것으로 간주된다. 다음에 그림 6, 7의 壓力 破壊電壓의 特性에 있어서의 特徵인 破壊電壓에 最大點이 나타난다는 點에 대해서는 다음과 같이 說明할 수 있다.

即, 처음에 壓力이 증가하면 油非含浸인 경우이므로 氣泡 또는 空隙이 점점 없어져 破壊電壓이 점점 上昇하나, 壓力이 너무 높으면 이번에는 空隙의 영향은 덜 받으나 두께가 줄어들어 破壊電壓이 오히려 低下한다고 볼 수 있다. 即 그림 6, 7에서 破壊電壓의 最大値 右側部分의 壓力에서는 空隙의 감소의 영향보다 두께의 감소의 影響을 더 받는 部分이 된다. 그런데 그림 6, 7에서 1枚인 경우에는 壓力과 더불어 破壊電壓이 一方으로 감소하는 것은 1枚이기 때문에 氣泡 또는 空隙의 影響이 아주 적기 때문에 壓力을 加하면 空隙의 影響보다 오히려 두께의 감소의 影響을 처음부터 받아 그러한 現象이 일어난다고 볼 수 있다. 그림 6, 7의 두 경우에 最大 破壊電壓이 나타나는 壓力이 枚數에 따라 各各 同一한 것은 空隙 또는 氣泡 및 두께의 條件이 破壊電壓을 최대로 하는 同一한 理想的인 相關關係에 있기 때문이라고 생각된다.

또 그림 6, 7에서 판단할 수 있는 바와 같이 最大 破壊電壓을 나타내는 壓力이 試料 B의 쪽이 A보다 높은 것은 試料 B는 단단하기 때문에 壓力의 증가에 따라 두께의 감소율이 A에서 보다 적기 때문이라고 볼 수 있다. 또 壓力의 增加에 따른 破壊電壓의 增加가 試料 A

에서 더 큰 것은 試料 A가 B보다 粗面이며 軟하기 때문이 壓力의 增加로 因한 空隙의 除去度가 B에서 보다 많기 때문이다.

끝으로 그림 8, 9의 油含侵의 경우에 壓力의 增加와 더불어 破壞電壓이 低下하고 있는데 이것은 油含侵으로 空隙의 영향은 거의 없는 反面에 壓力의 增加로 因하여 그 두께가 一方的으로 감소하기 때문에 破壞電壓이 低下하는 一方인 것으로 본다. 이 감소가 試料 A에서 더욱 심한 것은 이것이 B보다 더 軟하여 壓縮되기 용이하므로 두께가 壓力에 따라 더 심하게 變化하기 때문이다.

以上을 綜合하면 成層 枚數 및 壓力과 絶緣 破壞電壓과의 關係는 要는 成層材料의 軟度, 그 表面狀態, 成層間의 氣泡와 空隙 및 壓力에 따른 두 개의 變化率에 깊은 關係가 있으며, 油非含侵의 경우 最大 破壞電壓이 나타난다는 點 및 油含侵의 경우 破壞電壓은 壓力에 따라 감소하는 一方이나, 壓力이 너무 높아지면 두께의 감소율도 自然히 줄어들어 破壞電壓의 감소율도 따라서 적어진다는 點等은 大端히 흥미있는 實驗結果이다.

5. 結 論

以上 實驗結果에 對한 結論은 다음과 같다.

- (가) 油非含侵의 경우의 成層絶緣物의 絶緣破壞電壓은 一般的으로 不規則적으로 枚數에 따라 增加한다. 이것은 成層間의 氣泡 또는 空隙의 效果에 起因한다.
- (나) 油含侵의 경우의 成層絶緣物의 絶緣 破壞電壓은 枚數에 따라 大略 規則적으로 即 大略 直線的으로 壓力에 따른 並行 直線群으로 나타난다. 이것은 非含侵으로 氣泡가 除去되기 때문이다.
- (다) 油非含侵의 경우에는 成層絶緣物을 壓縮하는 壓力

이 增加하면 破壞電壓이 最大로 되는 理想的인 壓力의 크기가 存在한다. 이것은 氣泡와 두께의 條件에 그 原因이 있다.

(라) 油含侵의 경우는 壓力을 加하면 破壞電壓은 감소하나 壓力이 어느 程度 以上되면 두께의 감소율이 적어져 破壞電壓의 감소율이 점점 적어진다. 이온 氣泡의 影響이 없는데다가 壓力의 增加로 因하여 두께가 줄어들기 때문이다.

(마) 以上 各項의 特性에 對한 樣相은 成層用 板狀 絶緣物의 軟度, 表面狀態에 따라 若干 달라진다.

(바) 이와 같이 成層 絶緣物에 있어서는 weak spot 以外에 枚數와 印加 壓力에 따라 破壞電壓에 變化가 생기기 때문에, 電氣機器의 成層 絶緣에 있어서는 枚數 特別 壓力 即 같은 壓力에 또는 成層 絶緣物 製造時의 印加壓力에 一考를 加해야 함을 알 수 있다.

끝으로 本 實驗研究는 電氣機械 또는 變壓器 捲線 등의 成層 絶緣에 있어서 板狀 종이 絶緣物 등을 감는 경우의 壓力에 理想的인 값이 存在한다는 것을 暗示해 주는 것으로, 이 結果가 이 方面에 參考가 되면 多幸으로 생각하는 바이며, 本 研究에 여러가지로 지도를 아끼지 않으신 서울工大 丁性桂 教授에게 感謝를 드린다.

參 考 文 獻

1. 丁 性 桂 高電壓工學
2. 烏 山 電氣絶緣論
3. 日本電氣學會誌 昭 27年 1~12月
4. 望 月 高壓工學

(1965年 12月 2日 接受)