

Polyethylene의 空隙이 絶緣破壞特性에 미치는 影響

論 文
26~3~1

Impacts on the Deteriorative Breakdown Characteristics by the Void of Polyethylene

郭 永 淳*
(Young Soon Kwag)

Abstract

This study is to investigate the v-t characteristics gained by means of the Weibull distribution and to analyze the characteristics of fatigue breakdown caused by the A-C voltage of cross-linked polyethylene with and without void.

By the results, it has in most cases revealed deteriorative breakdown in case of none-void, and that random breakdown or complex Weibull distribution of deteriorative breakdown and random breakdown in case of with void.

1. 緒 論

電氣絶緣材料의 하나로서 近年 架橋수지가 많이 사용되고 있으나 이中 特히 폴리에틸렌은 電力케이블의 絶緣體로서 電氣的, 機械的 性能이 優秀하여 使用電壓은 더욱더 高電壓化가 要望되고 있다. 그러나 高壓電化됨에 따라 큰 問題로 대두되는 것은 케이블 製作時 發生되는 絶緣體中의 보이드 或은 크랙은 電壓印加時 部分放電에 의한 劣化現象을 일으켜 그 破壞形態는 소위 Tracing狀으로 되는 경우가 많다⁽¹⁻³⁾. 따라서 폴리에틸렌의 高電壓케이블의 利用에는 보이드 或은 크랙에 依한 劣化現象研究가 絶緣設計上 不可缺의 命題로 生覺된다.

本論文에서는 架橋폴리에틸렌 絶緣體에 보이드가 없는 경우와 있는 경우에 對하여 絶緣體에 交流電壓을 印加하여, 各種 階級의 電氣的스트레스와 電壓印加時間과의 關係, 즉 Weibull分布를 導入하여 v-t 特性을 求하고 破壞特性을 解析하였다.

2. 試料와 實驗方法

試料로서는 市販 23kV, 60mm² 架橋폴리에틸렌 케이블에 使用되고 있는 低密度 架橋폴리에틸렌을 22mm

길이로 切斷하여 그림 1과 같이 길이 方向으로 半分하고 半導電層을 完全히 切削加工한 試片을 만들어 使用하였다. 그 試片概形圖를 그림 1에 나타내었고 本實驗

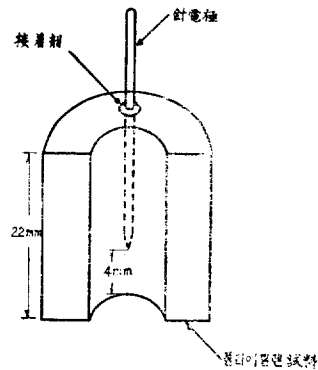


그림 1. 試料의 概形
Fig. 1. Schematic diagram of specimen

에 使用된 針電極으로서 木錦針(1號)으로서, 試片에 挿入方法을 폴리에틸렌試料를 100°C 로서 30分間 恒溫槽內에서 加熱하여 針電極을 挿入하고 針電極이 挿入된 그대로의 狀態에서 常溫까지 徐冷하였다. 그림 2는 實驗裝置의 概形圖로서, 試料는 실리콘油槽속에 담겨서 電壓印加時 沿面코로나 放電을 防止하였고, 보이드가 없는 경우는 試驗片은 針電極 尖端部와 試料底面에 密着시킨 平板電極과의 間隔은 4mm로 하였다. 또 보

* 正 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
接校時 : 1977年 3月 8日

이드가 있는 경우는 화을 일단 變後 보이드의 깊이가 800 μ m가 되게 다른 화을 삽입하여 보이드를 만들고 보이드의 尖端部와 試料底面間을 4mm로 하였다. 그리고 針電極과 폴리에틸렌 根部位는 폴리에틸렌에 電壓의 印加課稅에서 폴리에틸렌 内部의 空氣의 敗逸을 防止하기 위하여 에폭시樹脂系 接着劑로서 接着하였다.

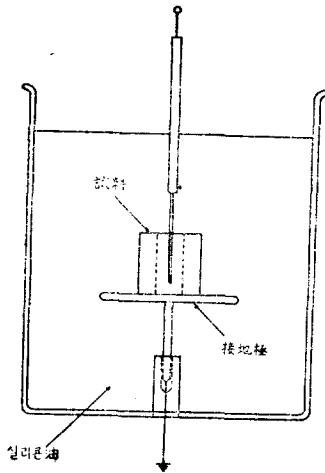


그림 2. 實驗裝置
Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus

實驗方法으로는 加工된 많은 試料中에서 50個의 試料를 샘플링하여 보이드가 없는 試料에 對하여 交流 瞬時破壞 電壓을 求하고, 破壞強度 E 를 算出하였다. E 의 平均値 E_A 를 豫想破壞스트레스로 定하고 이것을 基準으로 하여 E_A 以下의 스트레스레벨 S_L 을 決定하였다. 또 各各 30個의 試料에 同一 S_L 의 交流電壓을 印加하여 破壞될 때 까지의 時間에 對한 頻度分布를 求하였다. 보이드가 있는 試料에 對하여는 보이드가 없는 스트레스레벨을 그대로 使用하여 보이드가 없는 경우와 그 破壞強度를 比較 考察하였다.

3. 實驗結果 및 Weibull分布에 依한 考察

3.1 Weibull分布 概要

試料가 絶緣破壞될 때 까지의 交流電壓 印加時間 t 의 分布를 t 를 確率變數로 하는 Weibull 分布로 表示한다면, 그 密度函數를 $f(t)$, 分布函數(累積破壞確率)을 $F(t)$ 라 할때 破壞될때까지의 平均電壓 印加時間 μ 는 各各 다음 (1)~(4)式으로서 주어진다⁽⁹⁾.

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^m}{\alpha}\right) \quad (1)$$

$$f(t) = -\frac{dF(t)}{dt} = \frac{m}{\alpha} t^{m-1} \exp\left(-\frac{t^m}{\alpha}\right) \quad (2)$$

$$\mu = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \alpha^{1/m} \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{m}{\alpha} t^{m-1} \quad (4)$$

但 $t \geq 0, \alpha > 0, m > 0$

여기서 m, α 는 分布의 parameter로서 各各 形狀 parameter, 尺度 parameter이고, 分布의 形을 特徵 지우는 것이다. (1)式에서 $\frac{1}{1-F(t)}$ 을 2回 對數를 取하면

$$\log \log \frac{1}{1-F(t)} = m \log t - \log \alpha \quad (5)$$

로 된다. Weibull確率紙는 $\log \log \frac{1}{1-F(t)}$ 을 縱軸에, $\log t$ 를 橫軸에 取함으로서 (4)式은 直線으로 되며, 이 直線의 傾斜에서 m 이 求해진다. $m > 1$ 의 경우는 $\lambda(t)$ 는 t 의 蓄積된 劣化에 依한 破壞 即 摩耗의 破壞이다. $m < 1$ 의 경우는 $\lambda(t)$ 는 t 가 增加하면 減小한다. 따라서 이것을 初期形劣化이다. $m = 1$ 의 경우는 故障率 一定形으로서 一定確率로 破壞되는 偶發形劣化로서 3가지 경우를 區別하여 考察하였다.

3-2 Weibull plot에 依한 考察

그림 3~6은 t 對 $F(t)$ 에 對한 Weibull plot이며 各 試料群의 分布 parameter는 表 1에 一括 表示하였다. 이 plot에 依한 特徵을 要約하면 다음과 같다. 試料群 1은 스트레스레벨 $S_L = 0.9$ 이고, 試料群 2는 $S_L = 0.8$, 試料群 3은 $S_L = 0.7$, 試料群 4는 $S_L = 0.6$ 이다. E 의 平均破壞強度 $E_A (S_L = 1.0)$ 는 9kV/mm이다. 그림 3~7에 表示된 plot 中 보이드가 없는 것은 X表, 보이드가 있는 것은 點으로 表示하였다.

그림 3~6에 表示된 바와 같이 試料群 1~4에 있어서 보이드가 없는 경우는 어느 것이나 Weibull分布는 直線의이고, $m > 1$ 로서 摩耗形이고, 스트레스레벨이 높은 것일수록 m 의 값이 큰데 比하여, 보이드가 있는 경우는 $S_L = 0.9$ 의 경우를 除外하고 複合形 Weibull分布로 나타나 있다. 即 $S_L = 0.9$ 일때 $m = 1$ 로서 劣化는 偶發的이고, 그 外는 모든 스트레스레벨에 對하여 $m > 1$ 로 되는 摩耗形과 $m = 1$ 의 偶發形과의 複合形劣化形態로 되어 있다. 또, $m > 1$ 의 範圍에서는 스트레스레벨의 增加에 따라 오히려 m 의 값은 減少되고 $m < 1$ 의 範圍에서도 스트레스레벨의 增加에 따라 m 의 값은 減少되고 있다. 그림 7은 보이드가 있는 경우와 없는 경우에 對한 S_L 에 따라 parameter m 가 어떻게

表 1. 分布의 Parameter의 實測值
Table 1. Estimated values of parameters

試料群 番 號	印 加 電 壓		보 이 드 有		보 이 드 無		보 이 드 有		보 이 드 無		보 이 드 有		보 이 드 無	
	電壓(kv)	S_L	m		m	α		α	μ		μ			
			m_1	m_2		α_1	α_2		μ_1	μ_2				
1	32	0.9	0.8		3	2.9×10^3		2.2×10^2	4.1×10		5.5			
2	28	0.8	2.5	0.8	2.7	2.5×10^3	3.9×10^3	3.2×10^2	5.2×10	6.8×10	4.3×10			
3	25	0.7	2.6	1.0	2.18	3×10^3	6.7×10^3	3.3×10^3	4.1×10^2	7.1×10^2	4.6×10^2			
4	22	0.6	3.1	1.1	1.86	3×10^3	1.5×10^4	2.2×10^4	6.6×10^2	5.5×10^4	5×10^4			

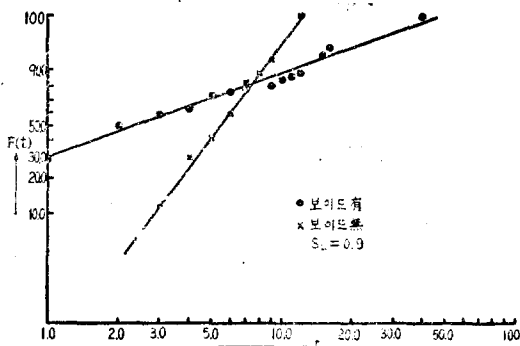


그림 3. t 對 $F(t)$ 의 Weibull plot(1)
Fig. 3. Plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between t and $F(t)$ (1)

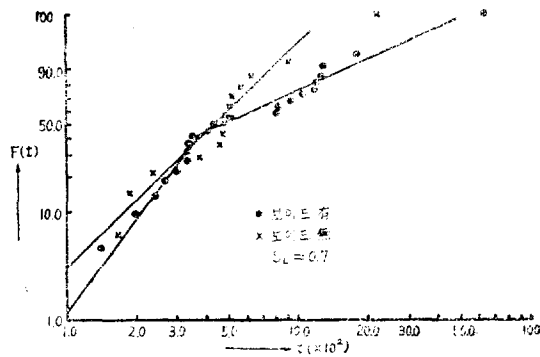


그림 5. t 對 $F(t)$ 의 Weibull plot (3)
Fig. 5. Plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between t and $F(t)$ (3)

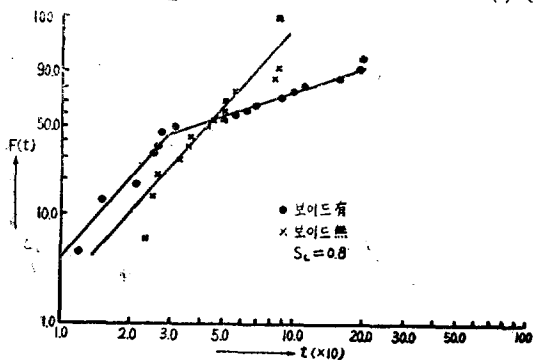


그림 4. t 對 $F(t)$ 의 Weibull Plot(2)
Fig. 4. plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between t and $F(t)$ (2)

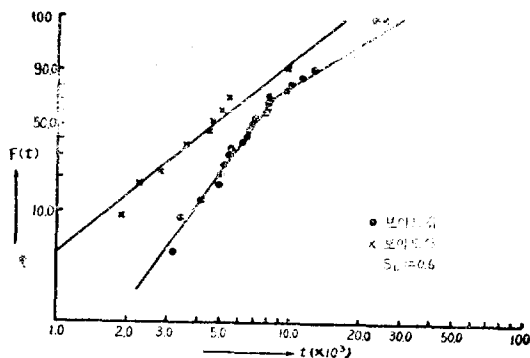


그림 6. t 對 $F(t)$ 의 Weibull plot (4)
Fig. 6. Plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between t and $F(t)$ (4)

變化하는가를 表示한 것이다(複合形分布에서는 두개의 m 의 값中 큰 것 即 m_1 의 값을 取하였다). 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 보이드가 있는 경우와 없는 경우는 判異하게 다른 現象을 나타내고 있다.

폴리에틸렌에 電壓을 印加時 針端近傍의 高電界部分에서는 보이드의 有無에 關係없이 電界와 直角方向으로

로 應力の 誘起를 생각할 수 있다. 이것은 破壞된 試料에 發生된 Tree가 그 伸長方向으로 進展된다는 事實에서도 立證되어 있다(1-8). 따라서 그 加해지는 電界가 높으면 높을수록 應力の 誘起는 커질 것이므로 그 破壞時間은 짧아진다. 即 스트레스레벨의 增加에 따라 累積度數 t 의 數圍는 적어진다. 그림 7에서 表示

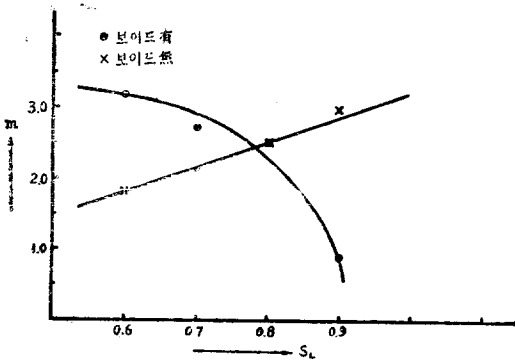


그림 7. 形狀 parameter m 의 變化
 Fig. 7. Variation of parameter m versus S_L

된 보이드가 없는 경우의 m 의 값은 電壓強度의 低下에 따라 $m > 1$ 에서 $m = 1$ 의 스트레스레벨의 存在를 推定하고 있다. 또 보이드가 있는 경우에 對하여 스트레스레벨이 높은 $S_L = 0.9$ 에서 보이드의 存在로 偶發的破壞로 나타났으나, 이것은 針端近傍 領域의 micro void 등의 微視的 缺陷部에 스트레스가 顯著히 作用하여 void crack 등이 豫想되며, void crack 中에 直性破壞強度⁽⁴⁻⁵⁾에 相當하는 電界를 形成하는 氣中放電이 그 보이드尖端에 까지 點孤되면 尖端近傍은 局部破壞를 이르게, 一般的으로 顯微鏡으로서 觀察할 수 있을 크기의 Tree가 確認된다⁽⁴⁻⁵⁾. 이 경우 針尖端部位의 空隙에 存在하는 空氣가 放電時 gas를 發生하여(破壞試料中 肉眼으로도 確認된 것이 많았음). 이 gas가 放電點孤를 抑制하는 作用⁽⁴⁻⁵⁾을 하는 것으로 思料된다.

4. 結 論

架橋폴리에틸렌 絕緣體內에 보이드가 있는 경우와, 보이드가 없는 경우에 對하여 60Hz 正弦波交流의 各級 스트레스레벨의 電壓을 印加하여 Weibull 分布에 依한 $V-t$ 特性을 求하고 이를 解析한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 보이드가 없는 경우의 劣化破壞는 主로 摩耗形이나, 보이드가 있는 경우는 이와는 反對로 偶發形, 或은 摩耗形과 偶發形으로된 複合 Weibull 分布로 나타났다. 또 보이드가 없는 경우보다 보이드가 있는 경우의 破壞平均壽命值가 큰 값으로 表示되었다. 이것은

보이드內에 存在하는 空氣가 放電時 gas를 發生하여 破壞進行을 抑制케 하는 作用에 影響된 것으로 思料된다.

2. Void 內의 氣中放電에 依하여 發生된 gas의 抑制効果는 stress level에 따라 그 크기가 左右된다. 따라서 抑制 효과가 큰 범위에서는 偶發形破壞로 되고, 작은 範圍에서는 摩耗的 劣化破壞와 偶發的破壞로된 複合形 Weibull 分布로 된다.

參 考 文 獻

1. Sekii, Yoda: Deterioration by Treeing of Rubber-and Plastic Insulated Cables Caused by Impulse Voltage. 1970. 11.12 IEEE
2. McMahon, Perkins: Surface and Volume Phenomena in Dielectric Breakdown of Polyethylene. 1963. 2.15 IEEE
3. Noto, Yoshimura: Growth and Forms of Tree in Polyethylene by Means of Intermittent Applied Voltage. 1973. 1 IEEJ
4. Nawata, Kawamura, Ieda: Voltage and Temperature Dependence of Treeing Breakdown in the Organic Solid Insulators. 1971. 7 JIE EJ
5. Nawata, Kawamura: The Treeing Breakdown in the Polymethyl-methacrylate by Impulse Voltage. 1969. 12 SIEEJ.
6. Kudo, Yamaguchi, Saito: Temperature Dependence of Tree Characteristics in Organic Insulating Materials 1972. 4 IEEJ
7. Sekii, Yoda: Statistical Investigation on Fatigue Deterioration of Rubber and Plastic Insulated Cables Caused by Impulse Voltage. 1971. 8 JIEEJ
8. 郭永淳: 熱劣화된 폴리에틸렌케이블의 衝擊電壓에 依한 破壞特性에 關한 研究(II) 1975. 5 大韓電氣學會誌
9. 直壁: 와이불確率紙의 使使方, 日本規格協會 1972. 11.30