

熱劣화된 폴리에틸렌 케이블의 衝擊電壓에 의한 破壞特性에 關한 研究 (I)

논문
24~1~4

A Study on the Impulse Voltage Breakdown Characteristics of Heat-Deteriorated Polyethylene Cables (I)

郭 永 淳*
(Young Soon Kwak)

Abstract

This study investigated the characteristics of fatigue breakdown caused by the impulse voltage of heat treated polyethylene cables through fault currents. This study attempted to obtain the basic data on the insulation design for the impulse voltage of the polyethylene Cable in the power distribution system.

This study has examined the V-n characteristics gained by the repeated load of impulse voltage wave zone ($1 \times 40 \mu s$) on heat treated polyethylene cables. Besides this study also analysed the data involving their durability by means of the Weibull distribution.

An analysis of the breakdown characteristics based upon the repeated load of impulse voltage has revealed that worn out deteriorative breakdown existed at a high voltage near the initial breakdown voltage, and that random breakdown was discovered at a voltage somewhat lower than the initial breakdown voltage. These phenomena were more remarkable especially in the case of the higher temperature treated cables.

1. 緒 言

配電系統에 있어서는 雷擊 或은 開閉서어지 等の 衝擊電壓의 反復 印加가 많으므로 高電壓 폴리에틸렌 케이블의 布設後 配電系統의 常規 運轉 및 短絡, 過負荷 等の 非常規 運轉 狀態에 對한 經年劣化 및 異常電壓의 侵入에 依한 케이블의 劣化機構에 對하여 嚴密히 檢討 研究됨이 送配電系統의 絕緣設計 및 絕緣協調에 緊要하다. 一般의 常規運轉下의 폴리에틸렌 케이블에 對한 衝擊電壓의 反復 印加에 依하면 初期破壞電

壓에 比하여 그 破壞電壓이 低下되며, 또 高電壓 運轉下에 있는 大單位 工場等の 過負荷로 因하여 高電壓 케이블의 熱劣화가 야기되도 各處에서 報告되어 있다.

그러나 이러한 케이블에 대한 雷 서어지 或은 開閉 서어지 등에 依한 劣化現象에 對한 試驗은 아직도 報告된 文獻이 없어 本人은 同一 케이블에서 얻은 多數의 試料에 對하여 短絡 或은 過負荷電流를 흘려 케이블의 溫度를 上昇시키고 이렇게 熱劣화된 케이블에 대하여 衝擊電壓을 反復 印加하여 實驗하고 絕緣破壞에 이르기까지의 衝擊電壓 印加回數의 分布狀態에 對하여 와이블(Weibull) 分布를 使用하여 統計的 解析을 하고 그 壽命分布를 定量的으로 考察하였다.

*正會員 : 釜山工大教授(工博)

2. 實驗方法 및 結果

2.1. 試料 및 實驗裝置

表 1에 試料로서 使用된 케이블의 構造를 나타내었으며 本試料의 絕緣體는 高壓法에 依하여 製造된 低密度 폴리에틸렌을 絕緣體로 한 폴리에틸렌 絕緣 비닐시스 電力케이블(商品名)이다.

本實驗에 使用된 衝擊電壓 發生裝置는 多段式, 直列 充電方式이며 $1 \times 40 \mu s$ 의 衝擊波를 發生한다. 그림 1은 本實驗에 使用된 實驗裝置 및 試驗케이블에 對한 設備 概略圖이다. 그림에서 T, Tr은 試驗用 變壓器, K는 整流用 케네트론(Kenctron), N·G는 始動用 間隙, G

表 1. 試新 케이블의 構造
Table 1. The Structure of cables

導體 短絡 mm ²	絕緣體 두께 mm	遮蔽데이프 두께 mm	시스 두께 mm	全外徑 mm	使用電 壓階級 KV	備 考
8.0	4.0	0.1×2.0	1.965	18.0	6	絕緣體上半 導體性布테 이프 및軟 銅테이프 回卷

는 불꽃, 球間隙, C는 蓄電器, L은 波頭 調整用 인덕턴스, B·O는 衝擊波, 波形觀測用 오실로그래프, I·E는 內部電極, O·E는 外部電極, P·C는 폴리에틸렌 케이블, C·S는 絕緣混合物 含有 붓싱이다.

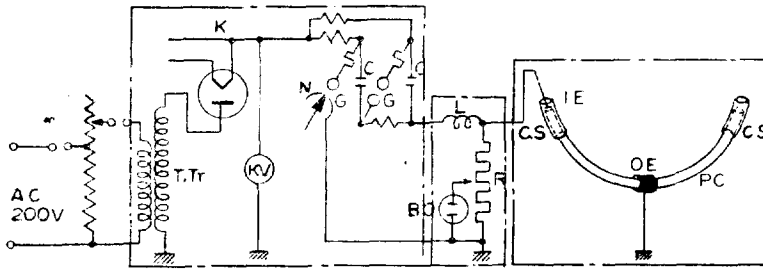


그림 1. 實驗 設備 概略 圖

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental Apparatus and tested cable

2.2. 實驗方法

試驗에 使用된 케이블에는 正極性 $1 \times 40 \mu s$ 의 衝擊電壓을 絕緣破壞가 일어날 때까지 反復印加하여 陰極性 오실로그래프에 나타난 破形에 依據하여 그 絕緣破壞를 確認하였다. 試料의 全長은 1m로서 衝擊電壓 印加 有效長은 40cm이며 同心圓筒狀 電極이다. 또 試料의 兩端末을 10cm까지 絕緣점파운더로서 圓筒形으로 成型加工하여 附着하고 沿面코로나 放電을 防止하였다. 電壓의 印加時間間隔(t_{1-2})은 15 ± 2 秒로 하고 豫想破壞 電壓求하기 위하여 段階昇壓法⁽¹²⁾을 使用할 경우는 電壓 印加時間 間隔은 10 ± 2 秒로 하였다. 電壓의 反復印加 때문에 絕緣體에 電荷가 蓄積된다고 생각되나, 實際로는 試料와 並列로 挿入된 衝擊電壓 發生裝置의 放電抵抗(1200Ω)이 絕緣體의 抵抗(體積抵抗 $35 \times 10^4 \Omega \cdot cm$)에 比하여 아주 작기 때문에 無視했다. 폴리에틸렌 케이블의 絕緣體의 高分子의 物性的 變化를 均等하게 하기 위하여 各各 60m式 케이블을 切斷하여 各 케이블에 120A 130秒(試料群 1), 1200A 2秒(試料群 2), 320A 32秒(試料群 3)의 時間 間隔에 依한 電流를 흘려 導體의 溫度를 各各 75°C, 115°C, 140°C로 上昇시키고 폴리에틸렌의 結晶構造의 變化를 考慮하여 徐徐히 自冷토록 措置하였다. 이것은 폴리에틸렌 絕緣體와의 사이의 空隙 形成을 考慮하여 140°C 溫度上昇케

이불에 對하여는 케이블의 位置를 垂直 및 水平의 狀態로 놓아 電流를 흘리도록 하였다. 케이블의 溫度上昇值의 測定方法은 銅-콘스탄탄 熱電對를 폴리에틸렌 케이블 末端 10cm 部位를 切除하여 導體에 固着시키고, 다시 元型대로 完全 復舊 處理하여, 溫度上昇值는 溫度, 自動記錄計로 記錄토록 하였다.

印加電壓 V(KV)와 絕緣破壞까지의 電壓 印加回數 n(回)에 對한 V-n 特性을 求하기 위하여 各試料群마다 7~10本の 試料를 샘플링하여 各各의 衝擊破壞電壓 V를 求하고 破壞強度, E를 算出하였다. 이 경우 V는 初期印加電壓을 200KV로 하고, 同一電壓을 3회式 印加하려 絕緣破壞가 일어나지 않는 경우는 5KV式 印加電壓을 上昇시키는 段階昇壓法⁽¹⁰⁾에 依하여 100% 破壞電壓을 求하였고, 7~10本에서 求해진 衝擊電壓 V를 豫想破壞電壓으로 하고 또 V의 破壞強度 E의 平均值 E_B 를 基準으로 하여 E_B 以下の 破壞스트레스 E_L 을 定하였다. 各試料群에서 샘플링된 35~40本の 試料에 各各의 同一 E_L 別의 衝擊電壓으로서 破壞될때까지의 電壓印加回數 n의 頻度分布를 求하였다. 各 케이블의 印加된 電壓의 $E_L/E_B (=S_L)$ 를 印加電壓의 스트레스 레벨이라 하고 모두 S_L 로서 表示한다.

2.3. 絕緣破壞까지의 電壓印加 回數分布

그림 2는 各試料群에 對한 絕緣破壞까지의 電壓印加

回數 n 의 分布를 表示하는 히스토그램(Histogram)이다. 이것은 폴리에틸렌 케이블의 衝擊電壓에 依한 壽命分布의 形態를 나타내는 것으로서 이 壽命分布의 確率密度函數를 $f(x)$ 로 나타내면

$$\int_0^{\infty} f(x)dx=1 \quad (1)$$

로 된다. 따라서 n 회까지의 信賴度(破壞되지 않는 確率)를 $R(n)$ 로서 表示하고, 分布函數(n 회까지의 累積破壞確率)를 $F(n)$ 로서 表示하면

$$F(n)=\int_0^n f(x)dx \quad (2)$$

로 되고

$$R(n)=1-F(n) \quad (3)$$

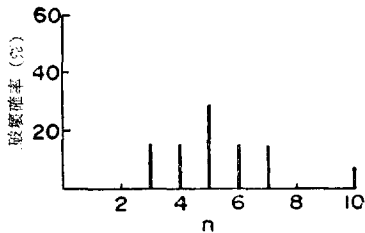
의 關係가 成立한다. 또 여기에서 수명치의 分布를 特徵짓는 尺度로서 使用되는 平均壽命을 μ 라고 하면

$$\mu=\int_0^{\infty} x \cdot f(x)dx=-\int_0^{\infty} x \cdot d\{1-F(x)\} \quad (4)$$

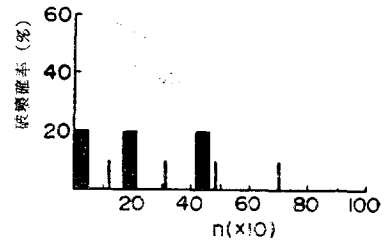
$$=\int_0^{\infty} [1-F(x)]dx \text{ 또는 } \int_0^{\infty} R(x)dx \quad (5)$$

로서 表示할 수 있다⁽¹³⁾.

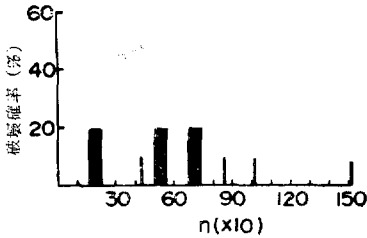
그림 2의 히스토그램에 依하면 各試料群은 파피스트 레스 레벨에 따라 絶緣破壞의 回數分布狀態 및 수명분포에 있어서 어떠한 共通의 特性을 나타내고 있으며 同一 스트레스 레벨의 各試料群 相互間에 있어서는 絶緣 파괴의 수명분포에 顯著的한 差異를 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 各試料群마다 衝擊電壓의 反復 印加에 依한 絶緣破壞特性의 結果로 各各의 初期破壞電壓에 가까운 高電壓에 있어서는 그 破壞回數分布狀態가 類似하여 그 分布가 比較的 좁은 回數幅에 걸쳐 있음을 알 수 있고, 初期破壞電壓보다 어느 程度 낮은 電壓에 있어서는 그 破壞分布狀態가 一般의 廣範圍한 回數分布로 散在한다. 特히 試料群 2의 115°C로 熱處理된 케이블 및 試料群 3의 140°C로 熱處理된 케이블은 그 分布가 廣範圍回數로 散在됨이 極甚하다. 3種의 試料群 케이블을 比較 檢討하면 다음과 같다.



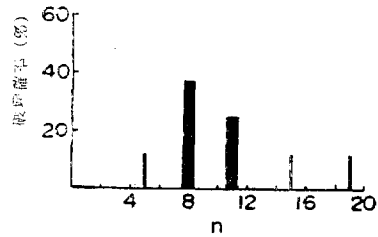
(a) 試料群 1, $S_L=0.9$



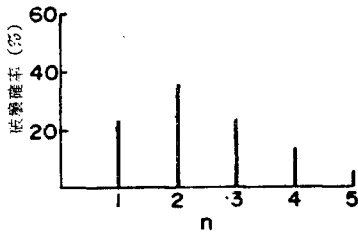
(d) 試料群 2, $S_L=0.7$



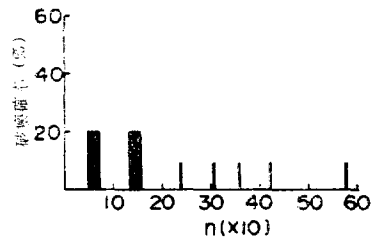
(b) 試料群 1, $S_L=0.7$



(e) 試料群 3, $S_L=1.15$



(c) 試料群 2, $S_L=0.9$



(f) 試料群 3, $S_L=0.9$

그림 2. 破壞까지의 電壓印加回數 n 의 히스토그램

Fig. 2. Histograms of the number of times of applied impulse voltage until cables distrupted.

i) 上位 스트레스 레벨 $S_L=0.9$ 에 대하여 試料群 1은 $n \leq 10$ 회에서 全部 破壞되었고, 또 $n \leq 6$ 에서 全破壞回數의 75%를 占하며 試料群 2는 $n \leq 5$ 회에서 全部破壞되었고, $n < 2$ 에서 80% 以上이 破壞되었으며 試料群 3은 59회에서부터 600회에 이르기까지의 그 破壞回數 分布幅이 極히 넓으며 $n < 450$ 에서 80%가 破壞되어 試料群 1이나 試料群 2와는 그 破壞狀態가 判異하게 다르다. 即 試料群 3은 그 破壞分布가 n 에 對하여 集中分布가 아니고 散在分布의인 偶發的 破壞임을 나타내고 있다.

ii) $S_L=0.9$ 에 있어서 試料群 1 및 試料群 2는 破壞의 피이크(Peak)가 n 의 最小의 곳에 있지 않는데 比하여 試料群 3은 最小의 곳에 있다. 以上의 i) 및 ii)의 特性에 있어서 試料群 3은 그 初期破壞電壓에 가까운 $S_L=1.1$ 의 破壞分布狀態가 試料群 1이나 試料群 2의 初期破壞電壓에 가까운 $S_L=0.9$ 의 破壞分布特性和 類似함을 그림 4(h)에서 알 수 있다.

iii) 下位 스트레스 레벨 $S_L=0.7$ 에 대하여 試料群 1은 $145 < n < 1510$ 에서 破壞되고 있고, 試料群 2는 $19 \leq n < 700$ 이며 試料群 3은 히스토그램에는 表示되어 있지 않으나 $n=2132$ 회에서도 不破壞이다. 이 경우에 있어서는 試料群 1이나 試料群 2나 破壞分布回數의 幅이 넓으며 히스토그램에 있어서 그 피이크도 散在되어 있으며 試料群 1과 試料群 2도 그 分布狀態가 多少 다르다. 이와 같이 初期破壞電壓보다 어느 程度 낮은 電壓에 있어서는 그 破壞分布回數의 幅이 넓어지고 어떠한 規則에서 벗어난 偶發的인 破壞機構임을 알 수 있다. 또 이 경우에 있어 試料群 3은 그의 初期破壞電壓 ($S_L=1.15$)과 거리가 먼 破壞스트레스인 $S_L=0.9$ 가 위의 特性에 類似함을 알 수 있고, 試料群 2 및 試料群 3이 試料群 1보다도 더욱 위의 特性이 顯著하다.

iv) 그림 4에서 알 수 있는 바와같이 同一한 스트레스 레벨에 있어서는 그 絶緣耐力이 시료군 3이 가장 높고, 다음에 試料群 1이며 試料群 2가 가장 낮다.

3. 絶緣破壞 機構 및 理論의 考察

3.1 絶緣劣化破壞의 統計的 解析

最近 와이블(Weibull) 分布가 信賴性工學 分野의 데 이타 解析에 廣範圍하게 使用되었던 對數正規分布나 감마(γ) 分布보다는 壽命分布表示에 가장 適合함이 이미 證明되었으며, 그림 4의 各 히스토그램의 케이블의 破壞分布도 壽命分布의 一種이므로 本論文에서는 와이블⁽¹¹⁾ 分布를 使用하였다.

一般的으로 衝擊電壓을 正常的 케이블에 反復印加하면 初期破壞電壓보다 그 破壞電壓이 低下하는 現象이

일어남은 이미 周知의 事實⁽¹²⁾로 되어 있으나, 이것은 電壓의 反復印加에서 基因되는 疲勞(或은 磨耗)가 일어났기 때문에 생각할 수 있다. 이 경우 이러한 破壞를 疲勞破壞 或은 磨耗의 破壞라고 한다. 그러나 或은 疲勞에 依한 것이 아니고 電壓의 反復印加에 單純히 偶發的으로 일어나는 破壞도 생각할 수 있다. 이 경우 이 때의 破壞發生率도 印加電壓回數의 增加와 함께 높아지게 될는지 알 수 없다.

또 케이블의 製造工程中에 있어서 或은 外部의 어떤 作用에 依하여 不良케 되어 初期에 그 破壞가 集中되는 경우를 생각할 수 있는 것이다. 이 判定은 一定電壓을 印加할 때의 壽命分布로서 取扱해서 破壞까지의 電壓의 反復印加回數의 分布를 와이블分布로서 解析함으로써 疲勞에 依한 破壞인지 偶發的인 것인지 或은 初期的인 破壞인지를 判定할 수 있다.

와이블分布는 一種의 指數的 分布를 擴張한 것이다. 케이블의 絶緣破壞하기 까지의 衝擊電壓印加回數 n 의 分布를 n 을 確率變數로 하는 와이블 分布로 생각해서 n 의 密度函數를 $f(n)$ 分布函數(累積破壞確率)를 $F(n)$ 瞬間破壞確率(電壓印加回數 n 까지 破壞하지 않고 다음 的 電壓單位印加回數에서 破壞하는 確率) $\lambda(n)$ 및 破壞까지의 電壓平均印加回數 即 平均壽命 μ 는 各々 다음과 같이 表示한다⁽¹¹⁾.

$$F(n) = 1 - e^{-\frac{n^m}{\alpha}} \tag{6}$$

$$f(n) = -\frac{dF(n)}{dn} = \frac{m}{\alpha} n^{m-1} e^{-\frac{n^m}{\alpha}} \tag{7}$$

$$\lambda(n) = \frac{f(n)}{1-F(n)} = \frac{m}{\alpha} n^{m-1} \tag{8}$$

$$\mu = \int_0^{\infty} n f(n) dn = \alpha^{\frac{1}{m}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \tag{9}$$

단, $n \geq 0, \alpha > 0, m > 0$

여기서 m, α 는 分布의 파라메타(parameter)로서 各 形狀파라메타, 尺度파라메타라 부르며 分布의 形을 特徵지우는 것이다.

(6)式에서 $\frac{1}{1-F(n)}$ 은 2回 對數를 取하면

$$\log_e \log_e \frac{1}{1-F(n)} = m \log_e n - \log_e \alpha \tag{10}$$

로 된다. 와이블 確率紙는 $\log_e \log_e \frac{1}{1-F(n)}$ 을 縱軸에 $\log_e n$ 을 橫軸에 取함으로써 (10)式은 直線이 되며 이 直線의 傾斜에서 m 가 求해진다. 와이블分布의 特徵은 $\lambda(n)$ 가 m 의 값에 따라서 變한다는 點이다. $m > 1$ 의 경우는 $\lambda(n)$ 은 n 가 증가하면 커지고 $m < 1$ 의 때에는 n 가 증가하면 감소하여 $m=1$ 에서는 n 에 무관 제로 一定하게 된다. 따라서 破壞分布의 變化에 따라서 m 의 값도 變하게 되어 다음과 같이 된다. 이것은

一般的으로 磨耗型이라 부르며 $m=2\sim3$ 에서 正規分布에 가깝게 되고 이것은 蓄積된 劣化에 의한 破壞인 것이다. 따라서 磨耗의 破壞現象은 物質의 劣化現象이라는 觀點에서 보면 가장 自然的인 劣化破壞라고 생각할 수 있겠다. $m<1$ 의 경우는 故障率減少型으로서 初期에 破壞가 集中하는 現象으로서 初期型이라고 한다. 이 初期型은 製造工程中の 不良에 의한 例가 많다. $m=1$ 의 경우는 그 破壞發生率이 印加電壓回數의 增加에 따라 單純히 增加하고 있음에 不過하여 故障率이

一定型으로 되고 平均的으로 보면 一定의 確率로서 破壞한다. 이것은 偶發型이라고 하며 指數分布과 一致한다.

3.2 各 케이블의 와이בל 프롯트(Weibull plot)에 의한 考察

그림 3~그림 5는 各 케이블에 對한 n 對 $F(n)$ 의 와이בל 프롯트이며 各 試料群의 分布파라메타는 表 2에 一括表示하였다. 그림 3~그림 5와 表 2에 依據 프롯트의 特徵을 케이블마다 要約說明하면 다음과 같다.

表 2. 分布의 파라메타의 實測值

Table 2. Estimated values of parameters.

試料群 番 號	印 加 電 壓			m		α		μ			
	電 壓 (KV)	S_L	極 性	m_1	m_2	α_1	α_2	μ_1	μ_2		
1	250	0.95	+	3.73		87.44		2.99			
1	230	0.9	+	3.52		380.39		5.04			
1	205	0.8	+	2.1		223		132			
1	180	0.7	+	1.08	2.35	1114	8830	(943)	602		
2	230	0.9	+	2.04		7.78		2.39			
2	205	0.8	+	1.6	0.93	24.8	20.2	15.9	(22.6)		
2	180	0.7	+	0.59	1.18	148.8	540.8	899	283.8		
3	230	1.1	+	2.7		560		9.7			
3	205	0.9	+	1.1		413		290.5			
3	180	0.8	+	1381回 및 2132회에 不破壞							

i) 試料群 1

그림 3-1에서 $S_L=0.95$, $S_L=0.9$ 및 $S_L=0.8$ 의 경우는 모두 $m>1$ 로서 磨耗型이다. 특히 $S_L=0.95$, $S_L=0.9$ 는 $m>3$ 의 값으로서 電壓印加回數의 微小範圍內에서 그 磨耗狀態가 急激함을 나타내고 있다. 即 絶緣耐力上으로 보아 $S_L=0.9$ 에 있어서 그 劣化가 急激히 일어난 것을 明示하고 있다. $S_L=0.8$ 에 있어서는 역시 마모형이기는 하나 $S_L=0.9$ 에 비하여는 磨耗的 劣化狀態가 상당히 완만하여 破壞確率도 低下되며 그 平均的 수명

도 크게 길어짐을 알 수 있다. 그림 3-2에 표시된 바와 같이 $S_L=0.7$ 에 있어서는 電壓印加回數가 적은 범위에 있어서는 $m>1$ 로 되어 $S_L=0.9$ 나 $S_L=0.8$ 과는 다른 모양을 하고 있다.

이와 같이 어느 電壓印加回數를 境界로 하여 破壞現象이 위와 같이 아래로 꺾인 두 直線으로 되어 變化하는 것을 混合型 와이בל分布라고 한다⁽¹¹⁾. 그림 3-2에 표시한 $S_L=0.7$ 의 경우는 電壓印加回數 504회를 기준으로 하여 아래로 꺾인 두 直線으로 되어 있으며, $n<$

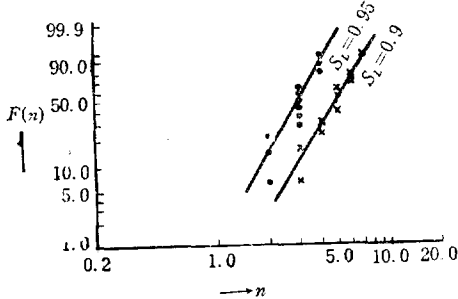


그림 3-1. n 對 $F(n)$ 의 와이בל 프롯트(試料群 1)
Fig. 3-1. Plot of the Data on weibull graph illustrating a relation between n and $F(n)$ (Lot No.1)

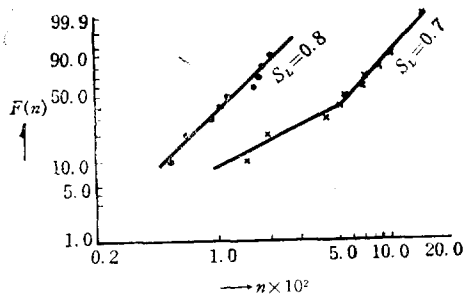


그림 3-2. n 對 $F(n)$ 의 와이בל 프롯트(試料群 1)
Fig. 3-2. Plot of the data on weibull graph illustrating a relation between n and $F(n)$ (Lot No.1)

504회에서는 $m=1$ 로 되어 偶發的인 絕緣破壞를 나타내고 있고, $n>504$ 회에서는 $m>1$ 로서 磨耗的 破壞現象을 나타내어 偶發的인 破壞로부터 磨耗的 破壞로 變化한다. 따라서 本境過의 混合型 와이불分布의 破壞密度函數는 (1) 偶發的인 一定比率로 일어나는 破壞 (2) 磨耗的으로 일어나는 破壞로 나누어 생각할 수 있다. 또 $n>504$ 회 以前의 破壞率은 거의 一定하여 磨耗的劣化는 電壓印加回數 504회 以後부터 始作되는 셈이 되므로 $S_L=0.7$ 로서는 衝擊電壓의 印加가 504회까지는 壽命에 影響된다고 볼 수 없다.

他的 報告⁽⁴⁾에 依하면 이미 偶發的으로 絕緣破壞된 試料中에서 破壞個所를 切除하고 健全한 部位에 對하여 다시 絕緣破壞試驗을 行한 結果 初期破壞電壓보다도 印加電壓이 約 20% 以下로 低下하면 破壞履歷을 받은 케이블은 劣化가 蓄積되어 破壞된 것이 아니고 單純한 偶發的인 確率로서 破壞되었음이 確認되어 있다. 따라서 이러한 경우의 破壞壽命은 磨耗的 破壞에 依하여 定해져야 할 것이다.

ii) 試料群 2

試料群 2는 試料群 1에 比하여 全般的으로 絕緣레벨이 낮음을 表 2 및 그림 4에서 보아 알 수 있다. $S_L=0.9$ 에 있어서는 $m=2.04$ 로서 磨耗的 劣化로 나타났고 그 平均壽命도 $\mu=2$ 회로 되어 本實驗 試料中 最小值이다. 그림 4에 表示된 $S_L=0.8$ 은 電壓印加回數 n 가 적은 範圍에 있어서는 $m>1$, n 가 큰 範圍에 있어서는 $m=1$ 로 되어 위로 꺾인 2本の 直線으로 되어 있다. 이와 같이 어느 電壓印加回數를 境界로 하여 破壞現象이 變化하는 것은 破壞原因이 어느 電壓印加回數 以後의 破壞試料에 對하여는 磨耗型으로 부터 偶發型으로 變하였기 때문이며, 이것을 複合型 와이불分布⁽¹¹⁾라고 한다. 이와 같은 複合型 와이불分布를 나타내는 $S_L=0.8$ 의 경우를 解析하면 $n>14$ 에 있어서 $m_2=0.93$, $n<14$ 에서 $m_1=1.6$ 이므로 14회의 電壓印加回數를 基準으로 하여 破壞는 14회까지는 回數의 增加에 따라 破壞率이 漸增하여 劣化의 蓄積的 破壞가 일어나고, 14회 以上에 있어서는 完全히 偶發的인 破壞로서 破壞率은 恒常 一定하다. $S_L=0.7$ 의 경우는 그림 4에 서로 알 수 있는 바와 같이 電壓印加回數 $n=120$ 회를 基準으로 하여 아래로 꺾인 두 直線으로 되어 있다. $n<140$ 회에서는 $m<1$ 이고 $n>104$ 회에서는 $m=1$ 로 되어 $n=104$ 회를 境界로 하여 初期의 劣化로 부터 偶發的 劣化로 變化된 混合型 와이불 分布이다.

iii) 試料群 3

試料群 3은 폴리에틸렌 絕緣體自體에 어떠한 化學的 變化 即 熱에 依한 劣化가 가장 甚하였음이 豫想되는

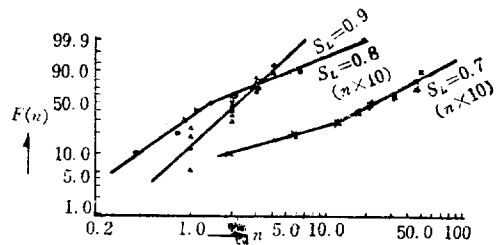


그림 4. n 對 $F(n)$ 의 와이불 프롯트(試料群 2)
Fig. 4. Plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between n and $F(n)$ (Lot No.2)

케이블이나 試料群 1이나 試料群 2에 比하여 絕緣耐力이 가장 높았음을 表 2 및 그림 5의 實驗結果에서 알 수 있다. $S_L=1.1$ 에 있어서는 $m=2.7$ 로서 그 劣化가 磨耗的이고 電壓의 平均印加回數가 $\mu=10$ 회로서 試料群 1 및 試料群 2의 스트레스레벨 $0.9<S_L<0.8$ 範圍에 該當된다. 따라서 各 試料群에 對한 同一印加電壓 230 KV로서 比較하여도 試料群 3은 他試料群에 比하여 그 絕緣耐力이 크고 同一 스트레스 레벨로서 比較하여도 可함을 알 수 있다. 또 스트레스 레벨 $S_L=0.9$ 에 對하여도 마찬가지이다.

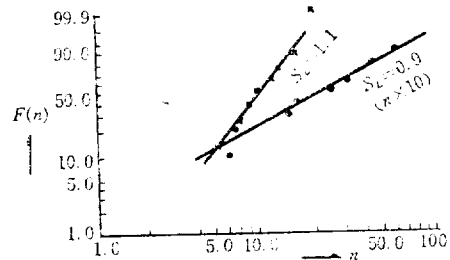


그림 5. n 對 $F(n)$ 의 와이불 프롯트(試料群 3)
Fig. 5. Plot of the data on Weibull graph illustrating a relation between n and $F(n)$ (Lot. No.3)

스트레스 레벨 $S_L=0.9$ 는 偶發的 破壞이며 試料群 3 뿐만 아니라 모든 試料群에 對하여 共通되는 것으로서 偶發的인 破壞의 경우는 故障率이 一定하므로 電壓印加回數에는 큰 關係없이 極히 無作爲(random)하게 破壞되며, 印加電壓이 低下하면 破壞確率도 低下하므로 破壞가 無作爲하게 일어나더라도 破壞까지의 電壓의 平均印加回數 μ 는 增大되어 있다. 또 表 2에서 알 수 있는 바와 같이 各 試料群마다 同一스트레스 레벨에 對하여 破壞까지의 電壓印加回數에 있어서 많은 差異가 있으며, 各 試料群別 初期 破壞電壓值에 가까운 範圍의 破壞現象은 大體的으로 그 劣化가 磨耗的이고, 初期 破壞電壓值에서 低下될수록 그 劣化狀態가 偶發或은 初期型으로 되고 스트레스레벨이 0.8의 경우는 各 試

料群에 있어서 그 破壞回數의 差異가 크다. $S_L=0.7$ 이 되면 그 破壞回數가 近接하여 $S_L=0.7$ 以下에 있어서는 磨耗的 破壞는 일어나지 않고 偶發 或은 初期型으로 되어 破壞 스트레스 레벨은 試料群別 케이블 特性에 事實上 無關係한 것으로 되는 것 같다.

4. 結 論

75°C(試料群 1), 115°C(試料群 2), 및 140°C(試料群 3)로 케이블導體의 溫度上昇에 依하여 熱處理된 폴리에틸렌 케이블에 대한 $1 \times 40 \mu s$ 衝擊電壓波를 反復印加回數의 分布狀態를 와이분分布에 依하여 解析하므로써 그 疲勞破壞의 壽命特性을 考察한 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 各 試料群은 衝擊電壓의 反復印가에 依한 絶緣破壞特性으로서 初期破壞電壓에 가까운 高電壓領域에 있어서는 磨耗的 劣化破壞로 되고 初期破壞 電壓値에서 低下할수록 偶發 或은 初期型破壞로 쓰인다.

(2) 同一 스트레스 레벨에 있어서 絶緣破壞까지의 電壓印加回數는 試料群 3이 가장 크고, 다음이 試料群 1이며, 試料群 2가 가장 적다. 그러나 試料群 1의 初期破壞電壓에 가까운 高電壓을 試料群 3에 印加했을 경우는 一般적으로 絶緣破壞되지 않으나, 경우에 따라서는 偶發的 破壞가 일어나는 경우도 있다.

本研究에 있어서 衝擊電壓에 依한 疲勞劣화에 對한 原因과 劣化進行에 미치는 事項에 對하여는 今後 明白히 할 생각이다.

參 考 文 獻

1. E.J. McMahon, J.R. Perkins: Surface and Volume Phenomena in Dielectric Breakdown of Polyethylene. IEEE Transactions Paper Vol. 63~180 1963. 2
2. IEEE Committee Report: A New Standard for Impulse Testing Procedures for Insulated Conductors. IEE Transactions Paper Vol. 83. No.10 p.1053.
3. 開井・依田: 衝擊電壓によるゴムプラスチックケーブル의 疲勞破壞に關する 統計的 檢討. 日本電氣學會雜誌, 1971.8. Vol. 91. No. 8. p.1496~1503
4. 堀井・木下・高木・坂東: 架橋ポリエチレンケーブル의 衝擊電壓破壞特性. タツタ電線技報, Vol. 3, p.12. 1969. 10.
5. Yoda Sekii: Deterioration by Trecing of Rubber and Plastic Insulated Cables Caused by Impulse Voltage. IEEE Transaction Paper 1971.7. ITP 38 PW-R 8p
6. 柳内・井上: ゴムプラスチックケーブル의 인발스 疲勞特性 ① 大日本電線時報 No.39. p.1~7, 1968.7.
7. 井上・田口: ゴムプラスチックケーブル의 인발스 疲勞特性 ② 大日本電線時報 No.47, p.21~26, 1969. 11.
8. 金古・藤・近藤・木村: ゴムプラスチック電力ケーブル의 繰り返シサージ疲勞特性. 藤倉電線技報 第44號 p.21~29.
9. 青笹・矢作: ポリエチレン電氣傳導における溫度特性と 時間特性의 相關・日本電氣學會雜誌 Vol. 91. No.4 p.743~752, 1971.4.
10. Korean Industrial Standards: KSC 0901 高電壓試驗方法改正 1965.7.12.
11. 眞壁: ワイブル確率紙의 使い方. 信賴性のための統計的解析. 日本規格協會 1972. 11.
12. 和田: 高分子의 物性工學. 오름社 p.101~135, 1968. 6.
13. 伊藤: 高分子加工工學, 丸善株式會社 p.117~130. 1968. 6.
14. 岡・中田・深田・山本: 高分子의 物理學, 地人書館 p.44~84, 1964. 11.
15. Frank Mclark: Insulating Materials for Design and Enginneering Practice John Wiley and Sons. Inc. p.466~506, 1962. 6.
16. 太田・高橋・中山: ポリエチレン. 日刊工業新聞社, p.38~49. p.192. 1961. 3.