

Corona 放電에 因한 Polyethylene의 表面劣化現象

5
40
24~5~3

Surface Deterioration Phenomena in Polyethylene under Corona Discharge

成 英 權* · 宋 鎮 洙** · 閔 南 基***
(Young Kwon Sung) (Jin Soo Song) (Nam Ki Min)

Abstract

This study investigated the deterioration phenomena of the Polyethylene surface contaminated with organic(Saccharose) or inorganic(NaCl) matters through electrical and optical experiments. And also these experimental results relatively well coincided with which was treated by theoretical process.

On the electrical experiment, relation between electric field intensity in corona discharge and time reached to the breakdown, and relation between total amount of charges discharged and increment of applied voltage were investigated. On the optical experiment, discharge time dependence of surface deterioration rate and process of surface deterioration in the X-ray diffraction pattern were investigated.

It was concluded that chemical effects by the corona discharge deteriorated insulation characteristics of Polyethylene surface.

1. 序 論

일반적으로 cable 및 高壓機器의 絕緣性의 低下를 造成하는 原因들 中에는 대부분이 部分放電劣化(corona 劣化)와 treeing 現象이라는 것은 既知의 事實이다.^{1),2)} 특히 部分劣化에 대해서는 國內外的으로 많이 檢討되어 그 劣化의 主因이 導體와 絕緣物사이의 氣體中의 酸素가 部分放電에 의해 活性化되어 絕緣物과 化學反應을 일으켜 解離, 侵蝕등으로 進行되어 감이 判明되었다.^{3),4)}

한편 treeing 現象은 固體의 內部가 劣化되는 것으로서 現象의으로는 前者와 多少 相異하나 高壓導體와 絕緣物間에 氣相이 약간이라도 存在하면 그 個所에 部分放電을 일으키게 되고 그 結果 部分放電劣化에 의해 treeing으로 進行됨이 判明되었다.^{5),6)} 따라서 treeing은 中空管으로서 그 進展은 일종의 void 部分放電 때문에 생긴다고 생각할 수 있다.^{7),8)} 이와 같이 corona 劣化 또는 treeing 劣化의 形式을 가지고 최종적으로 絕緣構成物의 全路과피에 이르기 까지는 劣化進展過

程과 최종결과과피 過程이 증첩되어 作用하고 있을 것이나 이때의 corona 放電은 固體誘電體의 電界를 增強시키는 역할만을 하는 것인지 또는 corona 放電속에서 生成된 荷電粒子가 固體內로 侵入해서 固體의 絕緣破壞機構 그 自體에 영향을 주는 것인지는 그 基本的 過程이 明確하지 않다.

물론 固體絕緣破壞 過渡過程中的 treeing 現象도 무시할 수 없지만 대부분 表面劣化에서 破壞에 이르는 過程은, corona 放電→treeing→破壞로 지치기 때문에 여기서는 일단 corona 放電劣化의 treeing에서의 進展過程에 대한 관련성에 초점을 두어 그 기초적인 知見과 資料를 얻기 위하여 우선 void corona의 기초적인 성질의 解明을 위한 void放電에서의 放電量의 定量的인 理論의 考察을 행한 結果 그 模擬實驗結果와 잘 符合되고, 또 有機物 및 無機物이 試料表面에 附着된 경우의 表面劣化實驗 및 光學的 考察을 통해 絕緣材料의 表面劣化에 關한 약간의 實驗資料를 얻었기에 報告하는 바이다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1 試料 및 實驗裝置

이 實驗에서 使用한 試料는 國內 製作會社에서 使用

*正會員: 高麗大學校 教授(工博)

**正會員: 高麗大學校 大學院在學

***正會員: 高麗大學校 大學院在學

接受日字: 75年 7月 8日

하고 있는 polyethylene film (構造式: $-(\text{C}-\text{C})_n-$, 分子量: 約 5萬, 比重: 0.901, 두께: (1) 0.12 ± 0.005mm (2) 100μ)을 그림 1과 같은 針對平板電極

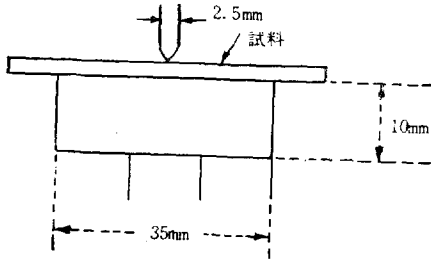


그림 1 針—平板電極
Fig. 1 Needle-plate electrode

의 아랫部分에 Silicon grease로서 附着시킨 후 corona 放電 劣化實驗을 시행하였다. 放電量은 그림 2에 나타낸 同調式 corona測定器에 의해 測定하고 放電 pulse의 크기는 synchroscope에서 測定하였으며 試料에 대해 並列로 들어있는 condenser(500PF)는 試料容量(數 PF)이 적기 때문에 測定器(그림 2-(a) 및 (b))의 校正

精度를 높이기 위해 插入한 것이다.

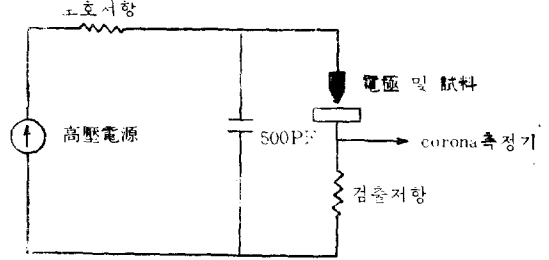


그림 2-(a) Corona 測定回路 diagram
Fig. 2-(a) Circuit diagram of corona measurement.

한편 表面放電 劣化實驗에 使用한 試料는 다음과 같이 作成하였다.

- (ㄱ) polyethylene film을 methyle alcohol에 1時間 담구어 세척한 것.
- (ㄴ) (ㄱ)의 試料를 잘 乾燥시킨 후 saccharose (C₁₂H₂₂O₁₁, 分子量: 342.31)의 포화용액에 10分間 담근 것.
- (ㄷ) (ㄱ)의 試料를 잘 乾燥시킨 후 NaCl 포화용액에 10分間 담근 것.
- (ㄹ) 表面에 10分間 66.67KV/mm의 電界로 corona 放電시킨 후 (ㄴ) 및 (ㄷ)의 처리를 한 것.

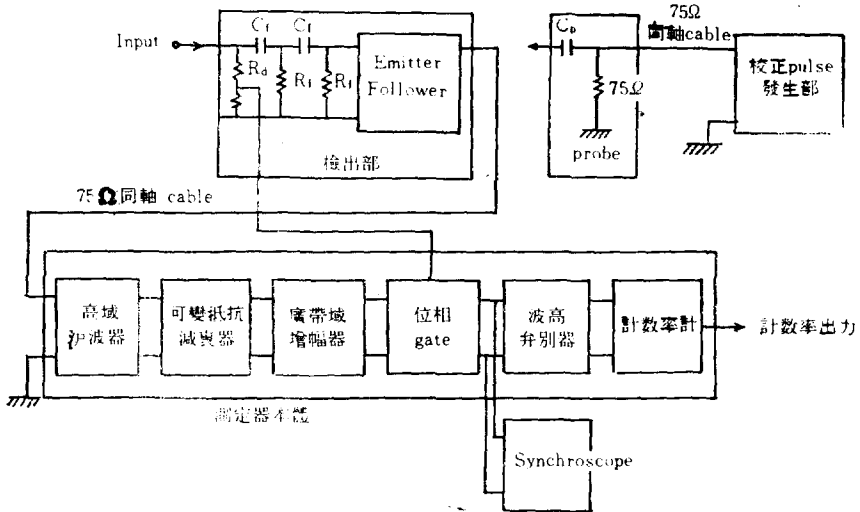


그림 2-(b) Corona測定器의 Block-diagram
Fig. 2-(b) Block-diagram of corona measuring apparatus.

여기서 corona 放電 電界強度를 66.67KV/mm로 택한 것은 100KV/mm로 했을 때는 두께 0.12mm의 처너 시료에 대한 corona壽命時間이 2時間前後였고 66.67KV/mm 일때에는 約 40時間程度여서 本實驗施行에 適合했기 때문이다. 有機物의 劣化促進劑인 saccharose의 構造式은 다음과 같다.

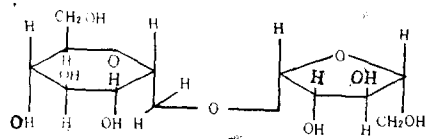


그림 3. Saccharose의 구조식
Fig. 3. Structure formula of saccharose.

2.2 實驗方法

위에서 列擧한 몇가지 方法에 따라 試料을 製作한 후에 針對平板電極을 使用하여 void corona 放電에서의 pulse 波形에 대한 解析과 그 放電量에 대한 理論的 考察 및 corona 劣化 放電實驗을 行하였다. 특히 corona 劣化 放電實驗에서는 電界強度, corona 印加時間 등을 變數로 하여 表面에 corona 放電을 시킨 후 현미경 觀察, 表面抵抗測定, 放電電荷量 및 絶緣油中에서의 破壞電壓을 實測하였다. 그리고 本實驗을 통해 實驗室의 濕度 및 溫度는 특별히 制御하지 않았으며 絶緣破壞值의 fluctuation이 심하여 各 試料을 20매씩 製作하여 그 平均値로서 나타내었다.

3. 實驗方法 및 考察

3.1 Void corona pulse 波形

本實驗을 통해 나타낸 corona 放電 pulse 波形은 印加電壓의 增加에 따라 약간은 일그러지나 대체로 Devins⁹⁾에 의한 Townsend like 型인 그림 4와 같았다. 이 pulse 型에 대해서는 아래와 같이 생각할 수 있다.

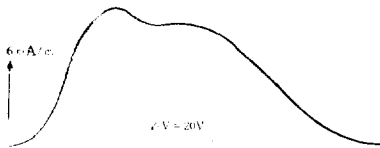


그림 4. Townsend like 型 波형
Fig. 4. Wave form of Townsend-like type.

즉, gap 間의 電壓은 V_0 로 유지되었을 때 ΔV 의 過電壓에 의해 생긴 電子는 avalanche를 일으키면서 陽極으로 향하며(그림 5(a)) 勵起狀態의 原子 또는 分子가 安定狀態로 돌아가거나 陽이온과 電子와의 再結合인 경우에 放出되는 光子에 의해 2次電子가 陰極에서 放出된다. (θ 作用) 이들의 電子電流에 의해 外部回路에 電流가 흘러 試料上面의 電位가 약간 높아져서 gap 間의 電壓이 ΔV 만큼 低下하면 avalanche는 그친다. 陽이온의 移動度는 電子에 비해 충분히 작기 때문에 電子 avalanche가 그친 뒤 陰極을 향해 移動한다고 생각된다.(그림 5(b)) 陽이온의 대부분은 陽極前面에 생기므로 pulse 幅은 陽이온의 transit time 이라고 생각된다.

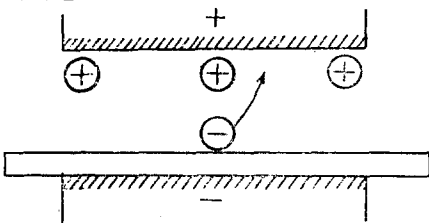


그림 5-(a)

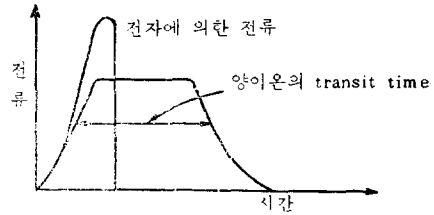


그림 5-(b)

그림 5. pulse 波形 形成기구
Fig. 5 Formation mechanism of pulse wave form.

3.2 Void corona 放電의 模擬實驗에 對한 理論的 考察과 實驗結果

gap 길이 δ 인 電極間의 한쪽 電極위에 絶緣物이 놓인 void corona 放電의 模擬等價回路는 試料의 靜電容量 및 抵抗을 各各 C_2, R_1 , gap 間의 靜電容量을 C_G , 試料과 電源間의 임피던스를 Z 라 하면 그림 6-(a)처럼 나타낼 수 있다. 여기서 直流電壓을 印加한 경우의 電壓印加時間과 放電電壓사이에는 대체로 그림 6-(b)처럼 나타낼 수 있다. 즉 그림 6-(a)의 試料에

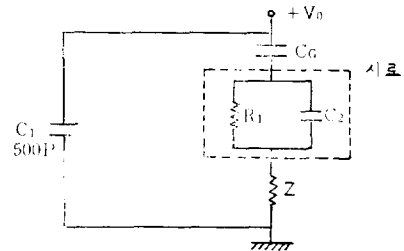


그림 6-(a)

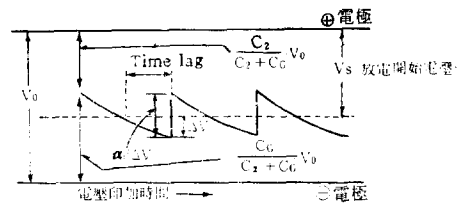


그림 6-(b)

그림 6. Void corona 放電의 模擬回路와 開始機構
Fig. 6. Trial circuit of void corona discharge and discharge inception mechanism.

直流電壓 V_0 를 印加하면 C_G 와 C_2 로서 分割되며 air gap 內에는 $\frac{C_2}{C_2 + C_G} V_0$ 인 電壓이 걸려 試料(R_1 과 C_2)에는 $\frac{C_G}{C_2 + C_G} V_0$ 인 電壓이 걸린다. 한편 試料의 抵抗 R_1 에 의해 試料에 걸리는 電壓은 時定數 $R_1(C_2 + C_G)$ 로서 減衰되고 air gap에 걸리는 電壓은 逆으로 增加해서 放電하게 되나, 放電에는 time lag가 存在하므로 air gap의 電壓이 放電開始電壓 V_s 보다 ΔV 만큼 높게 되었

을 때 放電하고 gap 電壓은 다시 V_0 로 되돌아가 이것이 放電되면서 corona 放電이 持續된다. 本實驗에서는 대체로 $\alpha\delta V$ 는 3~4[V]이다(단 α : 電離係數)

以上の 模擬에서 放電時의 放電量은 다음과 같은 解析으로 구할 수 있다.

(ㄱ) gap內的 電子에 의한 電流

gap內的 電子에 의한 電流는 우선 그 構成因子인 電子의 空間電荷密度에 대해 생각하면 다음의 連續式이 成立한다.

$$\text{連續의 式: } \frac{\partial \rho_e(x,t)}{\partial x} + \frac{1}{v_e} \frac{\partial \rho_e(x,t)}{\partial t} = \alpha \rho_e(x,t) \quad (1)$$

단 $\rho_e(x,t)$: 電子의 空間電荷密度
 v_e : 電子速度

윗 式의 一般解는

$$\rho_e(x,t) = f(v_e t - x) e^{\alpha x} \quad (2)$$

擴散을 무시하면 電子가 gap內를 進行中 그 數를 倍增하고 板狀으로 分布한다고 하면,

$$\rho_e(x,t) = \frac{q_0}{A} F(v_e t - x) e^{\alpha x} \quad (3)$$

단 q_0 : 初期電荷

A : 電極面積(q_0 가 均等하게 分布)

$F(v_e t - x)$: Dirac delta function

따라서 電子에 의한 電流는

$$i_e(x,t) = q_0 v_e F(v_e t - x) e^{\alpha x} \quad (4)$$

(ㄴ) gap內的 正이온에 의한 電流

gap 電位가 Townsend의 臨界值 以下로 떨어지고 있으므로 電離를 무시하여 正이온 電荷分布에 대해 생각하면,

$$\frac{\partial \rho_+(x,t)}{\partial x} - \frac{1}{v_+} \frac{\partial \rho_+(x,t)}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

윗 式의 解를

$$\rho_+(x,t) = c e^{k(x+v_+t)} \quad (6)$$

으로 한다.

初期電荷(正이온) 分布 $\rho_+(x,0)$ 를 알면 c 와 k 가 定해진다. 時間 t' 때 gap에 있는 電子數는

$$n_e(t') = A \int_0^{\delta} \rho_e(x,t') dx = q_0 e^{\alpha v_e t'} \quad (7)$$

이러한 電子數가 $x=v_e t'$ 인 곳에 板狀으로 集中하고 있다. 따라서 이것이 dx 만큼 나아가는 동안에 衝突電離를 일으키므로, 正이온의 數는

$$dn_+(x) = \alpha n_e(t') dx \quad (8)$$

단 $t' = x/v_e$.

電子 avalanche에 의해 生成되는 正이온 密度는

$$\rho_+(x,0) = \frac{dn_+(x)}{A dx} = \frac{\alpha q_0}{A} \cdot e^{\alpha x} \quad (9)$$

이로 부터

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{\alpha q_0}{A}, k = \alpha \\ \rho_+(x,t) &= \frac{\alpha q_0}{A} e^{-\alpha(x+v_+t)} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

따라서 正이온에 의한 電流는

$$i_+(x,t) = \alpha q_0 v_+ e^{\alpha(x+v_+t)} \quad (11)$$

가 된다.

(ㄷ) 外部回路에 흐르는 電流와 電荷

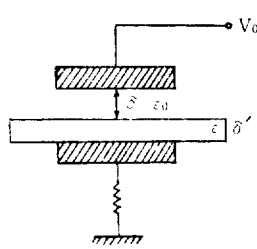


그림 7에 나타난 바와 같이 試料의 比誘電率을 ϵ , 두께를 δ' , gap(眞空)의 誘電率을 ϵ_0 , 간격을 δ , gap 內的 電荷密度를 $\rho(x,t)$ 라 하면,

$$\left. \begin{aligned} \text{電氣變位(電束密度)는} \\ D_a &= \epsilon_0 E_a (E_a : \text{gap 內的 電界}) \\ D_d &= \epsilon_0 \epsilon E_d (E_d : \text{試料 內的 電界}) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

그림 7. Gap과 試料의 유전정수
 Fig. 7 Dielectric constants of gap and specimen

이므로 外部回路에 흐르는 電流는

$$I(t) = \rho v + \dot{D}_a = \dot{D}_a \quad (13)$$

이다.

$$\text{단 } v : \text{電荷速度 } \dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

積分하면

$$\begin{aligned} \int_0^{\delta} v \rho(x,t) dx + \int_0^{\delta} \dot{D}_a(x,t) dx \\ = \int_0^{\delta} \dot{D}_a(t) dx = \int_0^{\delta} I(t) dx \end{aligned} \quad (14)$$

電極間에 V_0 를 印加하면

$$\begin{aligned} V_0 &= \int_{-\delta}^{\delta} E(x,t) dx \\ &= \int_{-\delta}^0 \frac{D_d(t)}{\epsilon_0 \epsilon} dx + \int_0^{\delta} \frac{D_a(x,t)}{\epsilon_0} dx \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 $V_0 = \text{const.}$ 이므로 $\frac{dV_0}{dx} = 0$

윗 式을 t 로 微分하면,

$$\int_{-\delta}^0 \frac{\dot{D}_d(t)}{\epsilon_0 \epsilon} dx + \int_0^{\delta} \frac{\dot{D}_a(x,t)}{\epsilon_0} dx = 0 \quad (16)$$

(14)(16)式으로 부터

$$I(t) = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} i_+(x,t) dx \quad (17)$$

$$\text{단 } \Delta = \delta + \frac{1}{\epsilon} \delta'$$

여기서 電子에 의한 電流를 생각하면

$$\begin{aligned} I_e(t) &= \frac{1}{\Delta} \int_0^{\delta} q_0 v_e F(v_e t - x) e^{\alpha x} dx \\ &= \frac{v_e q_0}{\Delta} e^{\alpha v_e t} \end{aligned} \quad (18)$$

이 電子流에 의한 電荷量은(外部에서 檢出) 電子의 gap 進行時間이 δ/v_e 이므로

$$Q_e = \int_0^{\delta/v_e} I_e(t) dt = \frac{q_0}{\Delta \alpha} [e^{\alpha \delta} - 1] \quad (19)$$

또 正이온分은

$$\begin{aligned} I_+(t) &= \frac{1}{\Delta} \int_0^{\delta-v_e t} i_+(x,t) dx \\ &= \frac{q_0 v_+}{\Delta} (e^{\alpha \delta} - e^{\alpha v_+ t}) \end{aligned} \quad (20)$$

그러므로

$$Q_+ = \int_0^{t'} v_+ I_+(t) dt$$

$$= \frac{q_0}{d} \left[\delta e^{\alpha t} - \frac{1}{\alpha} (e^{\alpha t} - 1) \right] \quad (21)$$

따라서

$$\frac{Q_+}{Q_e} = \frac{\alpha [\delta e^{\alpha t} - \frac{1}{\alpha} e^{\alpha t}]}{e^{\alpha t}} = \alpha \delta - 1 \quad (22)$$

試料의 容量을 C 라 하면 dV 의 過電壓에 對해 ($e^{\alpha t} \gg 1$) $Q_e = CV$ 이므로 全電荷量 Q 는

$$Q = Q_e + Q_+ = \alpha \delta CV \quad (23)$$

以上の 理論的 考察에서 檢討한 放電電荷量을 그림 2에 나타낸 放電量測定回路에 의한 것과 理論值와를 對比시킨 結果 그림 8과 같이 破壞前驅電界以上の 領域을 際外하고는 대체로 實測值와 理論曲線은 符合된다. 즉, 두께 100μ 의 polyethylene에 對한 氣中 corona劣化試驗結果가 그림 8처럼 電極間 거리 1mm인 경우의 corona放電破壞에 到達할때 까지의 總放電電荷量이 hot electron action이 干與할 듯 하는 破壞前驅領域을

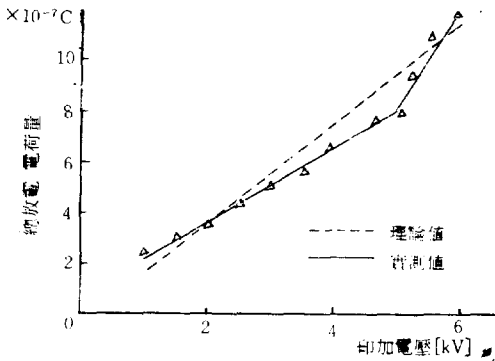


그림 8. Corona放電 總電荷量의 印加電壓 依存性
Fig. 8. Applied voltage dependence of total corona discharge magnitude.

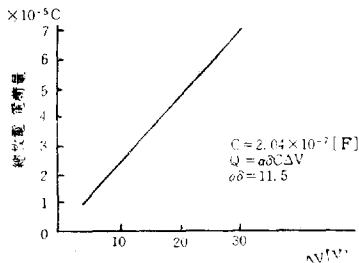
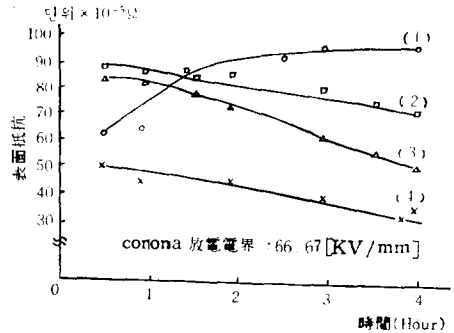


그림 9. 總放電 電荷量의 過電壓依存性
Fig. 9. Overvoltage dependence of total discharge magnitude.

除外하고는 대체로 印加電壓과 더불어 急増하는 現象을 나타내고 이들의 過電壓에 대한 依存性은 破壞前驅領域까지는 그림 9와 같이 理論值 曲線에 잘 符合된다.

3-3. Corona放電 劣化實驗의 結果와 그 考察

Alcohol에 1時間동안 0.12mm의 polyethylene膜을 담가 表面의 不純物을 除去한 후 메시케이트로 充分히 乾燥시켜 NaCl 포화용액에 10分間 담구었다 꺼낸 후 다시 메시케이터內에서 乾燥시켜 그림 1의 下部電極에 附着시켜 66.67KV/mm의 電界下에서 그 印加時間을 各各 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4로 해서 表面抵抗值을 구한 結果 그림 10처럼 나타났다. 그 외에 그



- (1) 10분간 corona 방전 후 소금용액에 10분간 담금
- (2) 처너시료를 소금 용액에 10분간 담금
- (3) 처너시료를 설탕용액에 10분간 담금
- (4) 10분간 corona 방전시킨후 설탕용액에 10분간 담금

그림 10. Corona放電 印加時間—表面抵抗特性

Fig. 10. Characteristics between applied time of corona discharge strength and surface resistance.

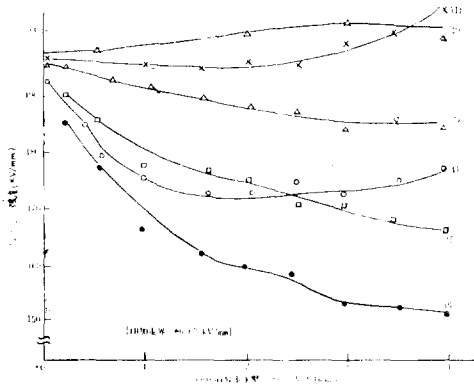
그림 10에는 corona에 의해 表面이 損傷된 후 NaCl이 附着된 경우의 劣化關係를 考察하기 위해 위의 方法으로 處理된 試料를 10分間 66.67KV/mm의 電界下에서 corona 放電을 시킨 후 NaCl 포화용액에 10分間 담구었다 꺼내서 乾燥시키고 다시 66.67KV/mm에서 corona放電을 시켜서 上述한 바와 같이 時間을 變化시킨 경우의 抵抗值의 實測 結果와, 有機物質의 하나인 saccharose를 使用하여 위의 NaCl과 같은 過程을 통해 얻어진 表面抵抗의 實測結果를 附記했다.

그림 10에서 아는 바와 같이 saccharose인 경우에는 表面抵抗은 表面이 corona에 의해 損傷된 경우가 더 적었으나 時間을 增加함에 따라 表面抵抗의 減少率이 corona에 먼저 損傷된 후 saccharose를 附着시킨 경우가 더 적었지만 일반적으로 처너시료를 汚染시킨 경우가 平均表面抵抗이 컸다.

또 10分間 corona에 의해 損傷된 후 NaCl을 附着시킨 경우가 時間의 增加에 따라 오히려 表面抵抗이 增加

하는 경향을 보이는데 이것은 NaCl의 損傷 pit에의 補償에 기여하는 結果라고 생각되며, 한편 saccharose에 의한 表面汚染이 NaCl보다 表面抵抗을 低下시키는 重要 要因임을 보여주고 있는데 이것은 주로 有機物內의 π電子와 OH基의 關係가 劣化促進에 기여하는 것 같다.¹⁰⁾

이와 같은 考察은 上述한 試料들에 대해 實測한 絶緣破壞強度의 印加電壓時間依存性を 나타낸 그림 11이



- (1) 방치한 시료
- (2) Alcohol에 1시간 세척한 시료
- (3) 소금포화용액에 10분간 담근후 방전시킨 시료
- (4) 세척한 시료를 먼저 10분간 방전시키고 소금의 포화용액에 10분간 담근후 방전시킨 시료
- (5) Saccharose 포화용액에 10분간 담근 시료
- (6) (4)와 같으나 Saccharose포화용액에 담근 시료

그림 11. Corona放電電壓 印加時間-破壞強度특성

Fig.11. Characteristics between applied time corona discharge and breakdown strength.

뒷받침하고 있다. 즉, 세척한 試料를 NaCl및 saccharose로 汚染시키지 않은 경우는 corona 印加時間을 增加시키면 破壞強度도 增加하나 表面을 汚染시킨 경우는 대체로 絶緣破壞強度가 減少하나 먼저 10분간 放電시키고 NaCl을 汚染시킨 경우, 오히려 corona印加時間을 增加시키면 破壞強度는 어느 時間까지 減少하다가 다시 增加하는 경향을 나타내고 있음은 위의 考察을 示唆하고 있다. 그런데 일반적으로 放電에는 반드시 time lag를 隨伴하는 것인데 이에 對한 影響은 上

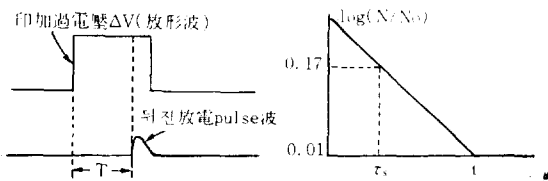


그림 12. 放電 time lag 機構와 ΔV-τs 特性

Fig. 12. Mechanism for time lag of discharge and theoretical ΔV-τs characteristics.

述한 實驗結果에 관한 限 거의 皆無인 것 같다.

그림 12-(a)에 나타낸 것처럼 gap에 가령 方形波 ΔV의 過電壓을 印加하면 일반적으로 時間 T만큼 뒤져서 放電이 일어나, 이 時間 T는 一定치 않고 N0회의 放電에서 時間 t보다 큰 뒤집을 나타내는 放電回數를 N이라 하면

$$\frac{N}{N_0} = \exp\left(-\frac{t}{\tau_s}\right) \quad (24)$$

로서 나타내는 分布를 한다.¹¹⁾ τs는 統計的 時間뒤집이며 ΔV와 τs의 關係를 구하면 그림 12-(b)와 같다.

2) 3)의 實驗에서 이들의 影響性を 把握하기 위해 檢討한 結果 그림 13에 나타낸 바와 같이 대체로 過電壓의 增加에 對해 같은 句配로서 低下되어 나가 過電壓이 均一한 경우 別다른 影響이 없어 各 放電機構에 干與할 放電 time lag에

그림 13. 印加過電壓-time lag 特性

Fig. 13. Experimental ΔV-τs Characteristics

3.4 Corona 放電劣化에 關한 光學的 實驗 및 考察 (7) 현미경에 의한 觀察

corona 放電實驗을 통해 이들 試料의 劣化狀況을 알아보기 위해 현미경으로 觀察한 結果는 그림 14에서 그림 18까지와 같다. 그림 14는 corona放電 電界下에서의 表面劣化 狀況을 나타낸 것으로 corona 放電劣化를 받지않은 試料는 그림 14-(b)에서 보는 바와 같이 아무런 表面의인 侵蝕을 設볼 수 없는 것에 反해 cor-



그림 14-(a) : 66.67KV/mm의 電界下에서 1時間劣化

試料 : 세척된 polyethylene. 두께 : 0.12mm
배율 : 3배

Fig. 14-(a) : Corona degradation pattern on cleaned polyethylene under the strength (=66.67KV/mm) exposure time : 1 hour sample thickness : 0.12mm magnifications : ×3

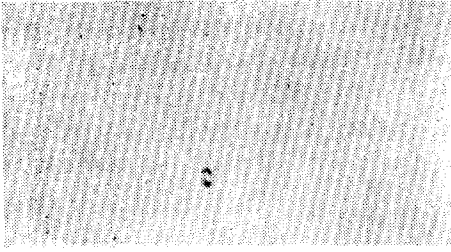


그림 14-(b) : corona劣化를 받지않은 시료.
시료 : 세척된 polyethylene
배율 : 640배

Fig 14-(b) Non-corona degradation pattern on
cleaned polyethylene.
magnifications : $\times 640$

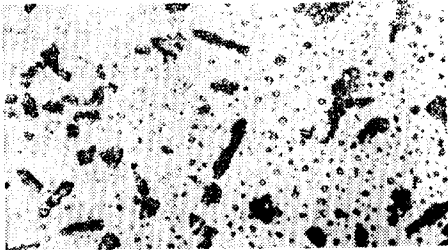


그림 15-(a) : 66.67KV/mm의 電界下에서 1時間
劣化
시료 : 세척된 polyethylene
배율 : 640배

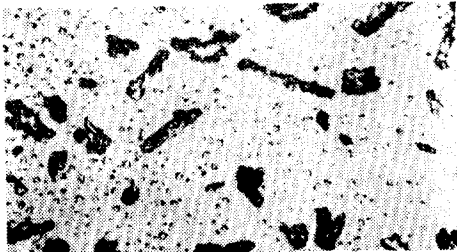


그림 15-(b) : 66.67KV/mm의 電界下에서 4時間
劣化
시료 : 세척된 polyethylene
배율 : 640배

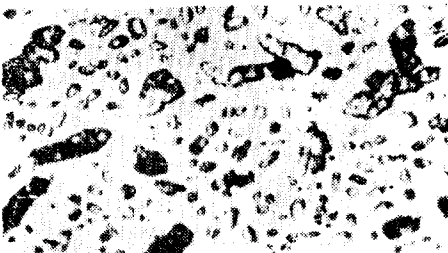


그림 15-(c) : 66.67KV/mm의 電界下에서 6時間
劣化
시료 : 세척된 polyethylene
배율 : 640배

Fig. 15. Corona degradation patterns on cleaned
polyethylene with variation of exposure
times under the strength. (=66.67KV/
mm) a) 1 hours b) 4 hours c) 6hours
magnifications : $\times 640$

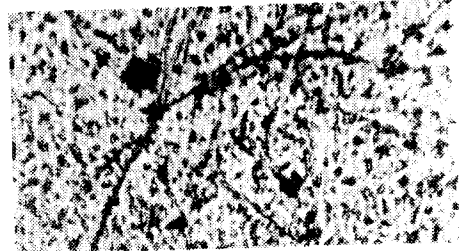


그림 16-(a) : 66.67KV/mm의 電界下에서 1時間
劣化
시료 : 세척된 polyethylene을 saccharose로
汚染
배율 : 640배



그림 16-(b) : 66.67KV/mm의 電界下에서 1時間
劣化
시료 : 세척된 polyethylene을 NaCl로 汚染
배율 : 640배

Fig. 16. Corona degradation patterns on contam-
inated polyethylene under the strength.
(=66.67KV/mm)
a) saccharose b) NaCl
exposure time : 1 hour
magnifications : $\times 640$

ona 放電劣化를 받는 경우는 既述한 各 實驗을 통한
劣化樣相의 形成推移가 印加電壓에 따라 多少 相異하
나 대체로 試料의 中央部가 靜電極徑에 相當하는 白色
ring을 形成하며 그 外側에 Lihitenberg 狀의 樣相이
나타난다. 이와 같은 劣化部를 詳細히 檢討하기 위해
그 劣化部의 한 點을 正面으로 擴大해 보면 그림 15~
그림 17에 나타낸 바와 같이 여러 侵蝕跡이 보이며 이
들 侵蝕跡은 그림 15-(a)~(c)에서 나타낸 바와 같이
대체로 放電時間에 比例해서 커져 約 30 μ 程度의 깊은
侵蝕跡까지 나타낸다. 한편 NaCl 및 saccharose 등 付
着物의 종류에 따른 樣相은 그림 16~17에 나타낸 바와
같이 먼저 附着物로 汚染시킨 경우, 또 먼저 corona



그림 17-(a) : 10분간 66.67KV/mm의 電界로 먼저 劣化시킨후 NaCl로 汚染시키고 50分間 劣化.

배율 : 640배



그림-17(b) : 10분간 66.67KV/mm의 電界로 먼저 劣化시킨후 saccharose로 汚染시키고 50分間 劣化

배율 : 640배

Fig. 17. Corona degradation patterns on contaminated polyethylene under the strength (=66.67KV/mm)

samples are deteriorated for 10 minutes under the strength (=66.67KV/mm) before contamination on cleaned surface

a) NaCl b) saccharose

exposure time : 50 minutes

magnifications : ×640

放電으로 劣化시킨 경우나 各各 多少의 侵蝕跡의 相異狀을 엿볼 수 있다. 그러나 現段階의 結果로서는 그 相異性의 出現機構는 明確히 推定할 수 없어 分明치 않다.

以上과 같은 현미경을 통한 試料의 corona 表面劣化狀況으로부터 대체로 corona 放電劣化로 因한 侵蝕跡生成過程에 의해 試料의 總體的인 侵蝕跡은 體積減少를 초래케 하는 것 같으나 이와 같은 體積減少는 後述하는 X-ray diffraction pattern 結果에서도 그런 徵兆가 보이듯이 侵蝕過程이 酸素를 비롯한 주위 因子들에 의한 polyethylene의 酸化崩壞로 因해 나타나는 것으로 간주된다. 특히 그림 18은 weak point의 劣化에 關心을 두어 그 部位를 中心으로 3200배로 觀察한 것으로 weak point에서의 劣化가 急速度로 進展되는 것 같다. 이는 電子나 이온의 殘留時間이 더 길기 때문이거나, 絶緣

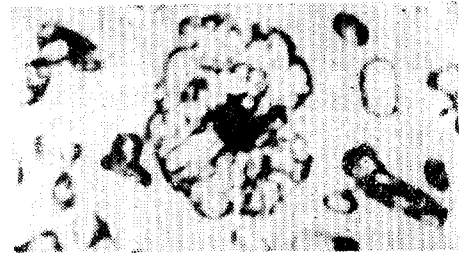
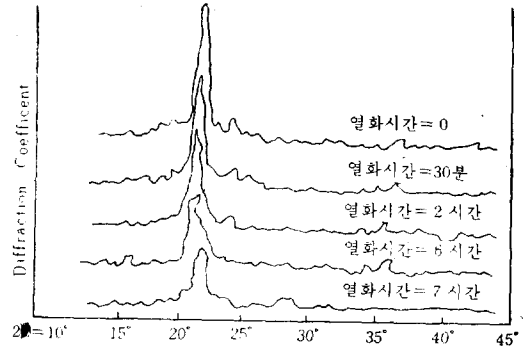


그림 18. 66.67KV/mm 電界下에서 6時間 劣化 試料 : 세척된 polyethylene 배율 : 3200배

Fig-18 Corona degradation pattern on cleaned polyethylene under the strength (=66.67KV/mm) magnifications : ×3200

體內로의 電子의 侵入이 이 部分에서 容易하게 이루어질 수 있기 때문인 것으로 생각된다.

(L) X-ray Diffraction Pattern



試料 : 세척한 PE, 두께 : 0.12mm

그림 19 X 線 回折線

Fig 19 X-ray diffraction pattern

corona 放電에 의한 polyethylene의 劣化機構를 結晶構造의 으로 살피기 위해 corona 放電時間을 變數로 한 試料의 X-ray diffraction pattern을 測定하였다. 0.12mm의 試料를 使用한 結果는 그림 19에 나타난 것처럼 corona 放電開始후 6時間까지는 各各의 peak ($d=4.13\text{\AA}$, 3.72\AA , 2.47\AA)가 점점 低下하며 破壞直前의 corona 放電劣化에 있어서 peak值가 消滅해 간다. 이러한 peak值의 減少現象은 corona放電에 의해 表面의 汚損과 더불어 polyethylene의 結晶化度의 崩壞現象을 나타내는 것으로 간주되며 그 結果가 그림 8에 나타난 corona 放電電荷量의 時間依存性의 試驗 結果 및 解析을 確證시키고 있다.

4. 結 論

以上の 實驗結果와 理論의 考察에서 다음과 같은 結論에 到達하였다.

1) 檢出된 void corona pulse 波形은 Devins가 提唱한 Townsend like 型으로 1次電子 avalanche와 θ 作用에 의한 電子電流와 陽이온의 transit time으로 構成되고 있다.

2) void corona放電 模擬等價回路를 통한 放電電荷量의 理論値와 實測値가 잘 符合됨으로서 筆者들의 void放電 模擬實驗을 통한 理論的 解析이 타당함을 示唆하였다.

3) polyethylene 表面에 有機物인 saccharose가 附着된 경우가 無機物인 NaCl이 附着된 경우보다 π 電子나 OH基에 因한 劣化가 促進되며 絶緣破壞強度도 낮아진다.

4) 汚染되지 않은 polyethylene 表面은 66.67KV/mm의 電界下에서 3時間程度 劣化시키면 破壞強度및 表面抵抗이 增加하는데 이는 表面의 不純物 分布條件의 變化및 그 밖의 다른 理由때문인 것 같으나 이 問題에 대한 研究는 더 필요하다.

5) corona에 의해 表面이 損傷된 후에 NaCl이 polyethylene 表面에 附着되면 表面抵抗이 增加하는데 이것은 NaCl이 pit를 위한 試料의 表面결함을 補償하도록 거의 均一한 薄膜을 表面에 形成하여 그 表面을 保護하는 것으로 생각된다.

6) 현미경觀察에 의하면 corona 放電에 의한 weak point에서의 劣化促進으로 pit를 形成하여 그곳의 부식이 放電時間과 더불어 增加하여 劣化가 急速度로 進展된다. 이는 weak point에서 電子나 이온의 殘留時間이 길거나, 絶緣體內로의 侵入이 容易하기 때문인 것으로 생각된다.

7) corona 放電에 의한 polyethylene의 結晶化度の 減少는 粒子충격의 效果로서 放電에 의한 酸化素素가 反應성이 대단히 커서 遊離基 또는 不飽和基와 쉽사리

結合하여 粒子충격작용과 더불어 polyethylene을 侵蝕시켜 結晶化度の 減少를 초래하는 劣化過程이 發生한다고 생각된다.

8) 以上の 實驗을 통해 본 結果 corona 放電의 表面劣化機構는 아래와 같이 생각되나 明確한 結論은 앞문의 여러 實驗에 기대할 수 밖에 없다.

(ㄱ) 放電에 의하여 생긴 微小 pit內의 부근에서 放電電荷가 供給되어 劣化를 促進시키고

(ㄴ) 表面抵抗의 減少에 수반하여 corona 開始電壓 降下또는 放電電荷로 因하여 同一 pit에 충격이 促進되고

(ㄷ) weak point에서 (ㄱ)과 같은 老化促進이 進行된다.

參 考 文 獻

- (1) J.H. Mason; Electrical Insulation 1, 68(1956)
- (2) R. Cooper et al; Nature 197 663(1963)
- (3) Y. Toriyama; IEEE Tr. EI-2 No. 2(1967)
- (4) S. Zoledziowsh; IEEE Trans. Power Apparatus Syst. P.A.S-87 1397(1968)
- (5) R. John Densley; IEEE Tr. EI-5 No. 4(1970)
- (6) M. Olyphant; IEEE Tr. EI-2 No. 2(1967)
- (7) 成英權; 高大論文論, 自然科學篇, 第11輯 p. 111 (1969)
- (8) H. Feibus; IEEE Tr. EI-5 No. 3(1970)
- (9) J.C. Devins et al; ASD Tech. Rept. 61, 693. (1962)
- (10) L.H. Germer; J. Appl. Phys. 30, 40(1959)
- (11) S. Whitehead; Dielectric Breakdown of Solids, Clarendon Press, Oxford(1951)