

合成高分子材料의 帶電現象에 관한 基礎研究

論 文
28-10-3

A Basic Study on Electrification Phenomena of Synthetic Polymer Material

李 德 出* · 韓 相 玉**
(Deok-Chool Lee, Sang-Oak Han)

Abstract

The electrification phenomena of polymerized materials is governed by the competitive processes of the charge generation and the charge dissipation.

In this paper, The charged particles were supplied on the naked upper surface of the polyethylene film from a point corona discharge with a screen electrode which controls the potential difference across the film.

The charging current with the corona charging was found to be larger than that obtained with the electric charging on the MIM structure and the discharge current was found to flow in the same direction as that of the charging current. these results can suggest that the charge injection occurs from the interface between the poethylene surface and the accumulated charge layer, the injected charge are trapped and the space charge is established.

제 1 장 서 론

高分子化學의 급속한 진보와 高分子成形 技術의 발달에 따라 등장한 合成高分子物質은 物理的 및 化學的 성질 특히 電氣의 성질에 우수한 특징을 가지고 있으며 그 성능이 점점 높이 평가되어 감에 따라, 섬유분야에서의 이용은 물론 電氣 분야에서는 高電壓機器, 超高壓 케이블을 비롯하여 박막, 有機半導體 등 電子部品에까지 널리 이용되고 있으며, 최근 高分子物質의 分子構造에서 기대되는 機能的 응용⁽¹⁾⁽²⁾ 분야에도 이를 이용하려는 경향이 날로 증대하고 있는 현황이다. 이와같이 高分子材料가 여러분야에서 많은 목적으로 활용빈도가 많아짐에 따라 이들 재료는 상호 다른 여러 조건과 주위 환경에 놓여질 기회가 많이 있기 때문에 高分子材料가 가지고 있는 특성만을 이해한다는 것은

재료의 우수한 성질을 충분히 발휘시킬 수 없을뿐 아니라 적재적소의 재료선택 면으로도 좋지 않을 것이다. 최근 전력수요의 급증에 따라 電力系統의 超高壓化, 長期安定化 및 高信賴性의 경향으로 여기에 이용되는 電氣絶緣材料에는 가혹한 조건이 요망하게 되었다. 이와 같이 전력계통의 초고전압화에 수반되는 高電壓絶緣에서 沿面放電이라든가 고체내의 보이드放電이 발생하면 고체절연물을 침식하는 등 유해한 영향을 준다. 이는 코로나放電열화⁽³⁾ 혹은 트리잉열화⁽⁴⁾로써 국내외로 주목되고 있는 문제점들이다. 이와 관련하여 高分子材料에 주입된 케리아의 성질은 電荷의 이동⁽⁵⁾ 및 축적과정에 연관하며, 이는 空間電荷生成의 요인이 되고 있다. 또한 대기중에 존재하는 이온성 電荷가 합성고분자 물질에 注入하여 帶電⁽⁶⁾⁽⁷⁾되는 것은 섬유계에서는 산업장해의 요인이 되고 있음은 잘 알려진 사실이다.

본 연구에서는 코로나放電에 의하여 생성된 케리아⁽⁸⁾를 高分子材料 표면에 균일하게 공급시켜 재료내에 케리아가 注入되는 현상을 注入할 때의 분위기 조건을

* 正會員: 仁荷大 工大 電氣工學科教授 · 工博

** 正會員: 忠南大 工大 電氣工學科專任講師

接受日字: 1979年 9月 17日

변화시키면서 검토하고 注入된 케리아의 성질을 구명하기 위하여 일차적으로 단락시 放電電流의 특성을 관측하였기에 그 결과에 대하여 고찰 하겠다.

제 2 장 실 험

2-1 試料 및 電極系

본 실험에 사용한 시료는 필립狀 고분자재료인 저밀도 폴리에틸렌과 고밀도 폴리에틸렌이며, 두께는 $20\mu\text{m}$ 이고 물리적 특성은 앞서 보고한 문헌⁽¹⁰⁾에 준한다. 폴리에틸렌은 합성고분자중에서 가장 간단한 분자구조를 가진 것 중에 속하며 無定形부분과 結晶부분이 존재하고 있다.

電極材料로서는 금(Au), 알루미늄(Al), 알루미늄 箔

(Al Foil), 및 아라탁(탄소 콜로이드 용액)을 사용하였고 高分子 필립狀의 下部面은 Au를 5×10^{-4} Torr 정도의 진공상태로써 진공중착 하였으며 下部電極의 직경은 9.5cm로 하였다. 上部面은 高分子 표면 그대로 두는 상태와 電極을 두는 상태로 분류 하였다. 電極을 두는 상태에서는 電極의 직경은 7cm로 하고, 이 電極의측에는 보호판 電極을 설치 하였고 電極構成은 실험 목적에 따라 변화시켰다.

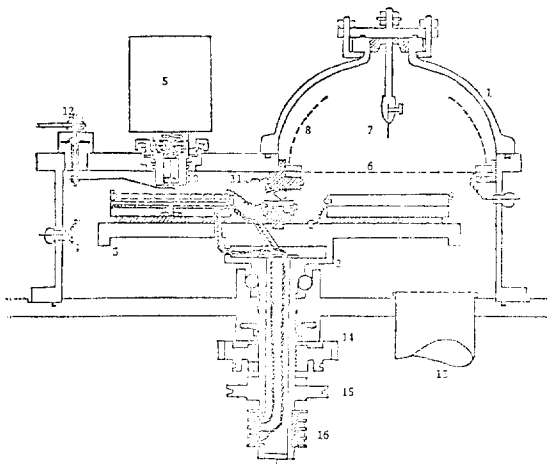
2-2 코로나 放電 裝置 및 帶電過程

코로나 放電을 발생시키는 장치를 그림 I에 나타낸다. 針端電極에 高電壓 V_1 를 인가하여 코로나 放電이 일어나도록 조절하고 細網狀의 스크린 電極에 電壓 V_2 를 인가하여 시료표면에 공급되는 電荷量 조절과 電界인가의 역할이 되도록 하였으며, 코로나 放電에서 발생한 電子나 이온은 스크린 電極쪽에 확산되고, 스크린을 통과한 電荷는 시료 표면의 電位가 거의 스크린 電位로 될때까지 시료표면에 균일하게 堆積하도록 되어 있다.

氣中 코로나 放電에서 발생한 電荷를 高分子 필립표면에 帶電되도록 한 시료(코로나 대전)와 비교검토하기 위하여 고분자 필립표면 상하부에 장치한 電極으로 高電界를 인가하여 電界충전된 시료를 만들었다. 帶電과정중의 장치속의 분위기는 우선 10^{-3} Torr정도의 진공으로 배기한 후 건조혼합가스($\text{O}_2 20\% + \text{N}_2 80\%$)를 도입하였다. 공급 電荷量은 시료 上部쪽에 놓여져 있는 스크린 電極의 電壓 V_1 에 의하여 제어하고, 接地·電極內에 電熱線이 설치되어 있어서 溫度 제어기에 의하여 시료의 溫度를 일정하게 할 수 있었다. 코로나 放電의 극성변화에 의한 결과를 비교하기 위하여 코로나 電流가 일정한 값($10\mu\text{A}$)이 되도록 針端電極의 코로나방전 電壓 V_1 를 조정하였으며 거의 $V_1 \approx 10\text{KV}$ 이었다. 건조혼합가스($\text{O}_2 20\% + \text{N}_2 80\%$)의 분위기에서 코로나 방전전압 $V_1 = 10\text{KV}$, 스크린 전압 $V_2 = -2000\text{V}$ 帶電時間 $t_e = 1\text{hr}$, 溫度 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 의 상태를 본 실험의 표준조건으로 하였다.

2-3 放電電流測定過程

시료의 上部표면에 電極系를 설치하지 않고 시료표면 그대로의 상태위에 코로나帶電 혹은 電界충전을 하는 경우라도 帶電이 완료되면 帶電표면에 電極系를 만든다. 그 方法으로는 導電性 페인트 본 실험에서는 아라탁을 도포하여 진공계에 넣어 10^{-4} Torr에서 30分間 진공조건을 행하는 방법(CC₁)와 帶電표면 위에 Au층착을 행하는 방법(CC₂)을 주로 취하고 이를 放電電流



- (1) chamber
- (2) turn-table
- (3) plane electrode connected to earth
- (4) ring type electrode
- (5) rotating sector
- (6) screen electrode
- (7) point electrode
- (8) electric shield
- (9) electrode for calibration
- (10) detecting electrode
- (11) electric contact for suppling a voltage to the rotation part
- (12) earthed arm for removing charges
- (13) gas inlet
- (14) gear
- (15) pulley
- (16) mercury pool for earthing

그림 1. 코로나 방전장치 개략도

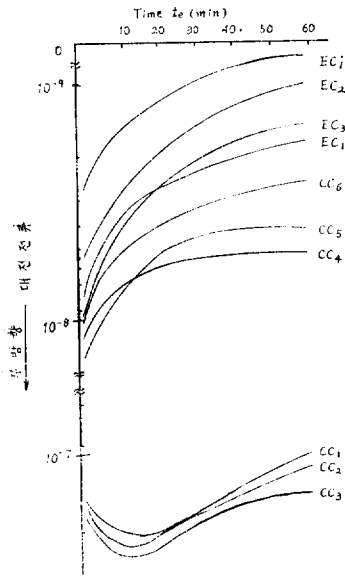
Fig. 1. (Schematic diagram of corona discharge device)

측정용 장치⁽¹⁰⁾에 옮긴다. 실온에서 30°C까지 승온하고, 온도가 30°C에서 일정하게 된 것을 확인하고 나서 (본 실험에는 거의 15분 정도로 동일하였다). 兩電極을 단락하고 단락시간 t_d 의 함수로서 실험 목적에 따라 放電電流 I_d 를 측정하였다.

제 3 장 실험 결과

3-1 帶電電流 特性

여기서 帶電電流라고 함은 코로나방전에 의하여 발생한 電荷를 시료표면 위에 공급하였을 때 시료에 흐르는 導電電流를 말하며, 上部電極의 電位가 負인 경우와 正인 경우를 각각 負帶電과 正帶電이라 한다. 표준실험 조건하에서 電極構成에 대한 負帶電時의 帶電



- EC₄ Electric charging on Al evaporation.
- EC₃ Electric Charging on Au evaporation.
- EC₂ Electric Charging Aquadag
- EC₁ Electric Charging on Brass electrode
- CC₆ Corona charging on Aquadag
- CC₅ CC₅ Corona charging on Al foil
- CC₄ Corona charging on Au evaporation
- CC₁ Corona charging on free surface, after Aquadag.
- CC₂ Corona charging free surface, after Au evaporation
- CC₃ Corona charging on free surface, after Al evaporation

그림 2. 부코로나 대전시의 대전전류특성
Fig. 2. Charging current vs charging time characteristics in negative corona charging

電流 I_c 와 帶電시간 t_c 의 관계를 그림 2에 표시한다. 시료 표면위에 직접 코로나帶電한 경우의 帶電電流(그림 2의 CC₁, CC₂, CC₃)는 시료의 電極 위에 코로나帶電 및 電界充電한 경우의 帶電電流(그림 2의 EC₁, EC₂, EC₃, EC₄) 보다 상당히 크다.

코로나 帶電에서의 帶電電流(CC₁, CC₂, CC₃)는 電界充電한 경우의 充電電流(EC₁, EC₂, EC₃) 보다 10배 이상 큼을 알 수 있다. 이로부터 시료의 표면과 축적 電荷層의 界面에서 시료중에 電荷의 注入이 있음을 추정할 수 있다. 그리고 시료표면위에 코로나 帶電하더라도 시료의 표면상태에 따라 帶電電流에 차이가 있음을 알 수 있다. 이와같이 시료전극위에 電壓을 인가할 때와 시료표면에 電荷를 공급할 때 흐르는 電流값에 차이가 있었기에 실험의 간단을 위하여 그림 2 중 주로 CC₁과 EC₁, EC₂를 대상으로 하여 다음과 같은 실험으로 검토한다.

(1) 極性效果

負帶電時와 동일한 실험조건에서 極性效果를 보기 위하여 正帶電時($V_c=2000V$)의 帶電電流 I_c 를 그림 3에

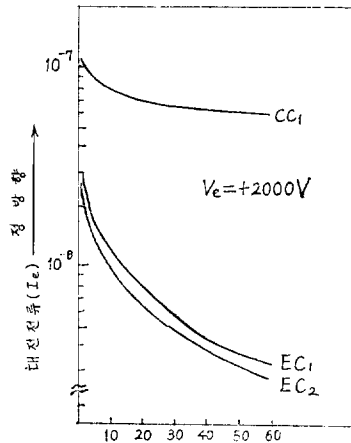


그림 3. 정코로나 대전시의 대전전류특성
Fig. 3. Charging current vs charging time characteristics in positive corona charging

도시한다. 이로부터 兩極性 모두 코로나 帶電時의 電流(CC₁)가 전체充電할때의 電流(EC₁, EC₂) 보다 큰 것을 알 수 있고 負帶電電流值가 正帶電電流值보다 2~3 배정도 큰값을 보이고 있다. 이 사실은 電荷注入이 있다고 추정한 사실을 지지한다.

(2) 高分子表面상태 의존성

코로나 帶電을 행하기전에 高分子의 上部표면에 미리 아라탁 전극을 도포하면 Au금속을 증착한후 코로나 帶電할때의 負帶電電流는 그림 4에 표시한 사실 범위내에 있다. 그림 3의 CC₁과 CC₂ 곡선과 비교하면 전류가 대단히 작다. 이러한 사실은 코로나 帶電

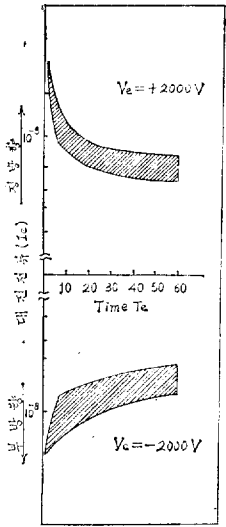


그림 4. 정부 코로나 대전시의 대전전류 특성
 Fig. 4. $I, VS t$, characteristics in neg & pos corona charging

할때 高分子표면에서의 界面상태가 帶電電流에 큰 영향을 준다는 것을 암시하고, 電荷注入에 난이 가 있음을 시사한다.

(3) 시간 의존성

일반적으로 절연체에 電壓을 인가하면 시간적으로 변화하는 흡수전류가 흐른다. 시료의 온도를 常溫, 50°C, 65°C로 一定하게 유지하고 표준 실험 조건하에서 코로나 放電電壓 V_c 를 10KV, 스크린電壓 V_e 를 -2000V로 하면서 측정 한 帶電電流의 시간적 감쇠현상을 그림 5에 표시한다.

대전전류—시간특성은 시간 경과와 더불어 감소하는 비율은 온도 상승과 더불어 다소 완화된 경향이 있다.

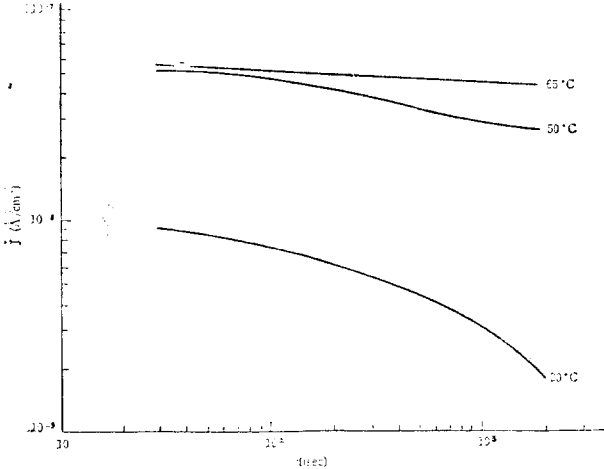


그림 5. 대전전류—대전시간특성의 T_s 의존성
 Fig. 5. The dependence of $I, vs T_s$, characteristics on T_s

(4) 電界 의존성

코로나 放電의 극성을 負극성 ($V_c = -10KV$)으로 일정하게 하고 표준실험조건에서 스크린전압 (V_e)을 변화시킬 때의 대전전류를 그림 6에 나타내고 V_e 변화에 의하여 대전된 시료를 단락하였을 때 방전전류의 방향을 관측하고 異常放電電流가 나타나는 스크린전압 V_e 를 선택할 수 있었다. 이로부터 V_e 를 2000V로 정하는 것

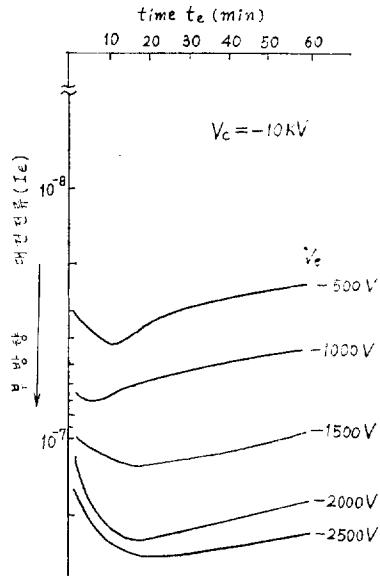


그림 6. 대전전류—대전시간 특성의 V_e 의존성
 Fig. 6. The dependence of $I, VS t$, characteristics on V_e

이 연구의 목적에 부합됨을 알 수 있다.

3-2 短絡時的 放電電流特性

표준실험 조건에서 코로나대전 혹은 電界充電한 후 실험목적에 따라 電極구성을 하고 眞空진조를 한 다음, 下部電極을 단락하였을 때 흐르는 방전전류를 측정하였다.

(1) 放電電流와 放電時間 特性

코로나 放電電壓 V_c 를 -10KV, 스크린전압 V_e 를

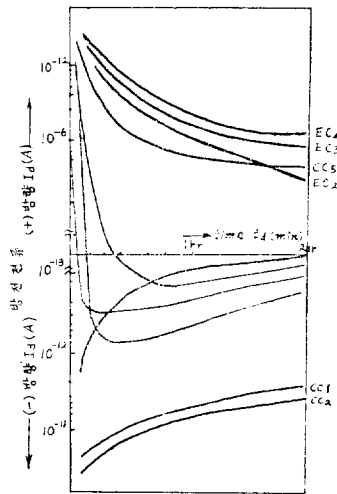


그림 7. 방전전류—시간 특성
 Fig. 7. Discharge current (I_d) VS discharging time (T_d) characteristics

-2000V로 하고, 코로나 帶電時間(t_e)를 1hr로 帶電한 시료를 단락할때 흐르는 放電電流(I_d)와 放電時間간의 관계를 그림 7에 표시한다. 시료로 上部표면을 Au 증착(EC_3)나 아파닥 도포(EC_2)한 위에 Electric charging 한 후 측정된 放電電流는 충전시 電流의 방향과 반대방향으로 흐른다. 이 경향은 보통 일반적으로 관측되는 것으로 正常 방전전류라 한다. 그러나 시료의 표면위에 직접 電界充電한 시료(EC_1)과 코로나 帶電후 아파닥을 도포한 시료(CC_1)과 Au를 증착시킨 시료(CC_2)로부터의 방전전류는 帶電時·電流의 방향과 같은 방향으로 흐르고 있음을 알 수 있으며, 正常·방전전류와는 반대의 특성을 나타내므로 이것을 異常 방전전류라 하기로 한다.

(2) 극성효과

針電極에 正電壓을 인가하여 코로나放電을 시킬경우 즉 코로나放電電壓 $V_c = 10KV$ 스크린電壓 $V_s = 2000V$

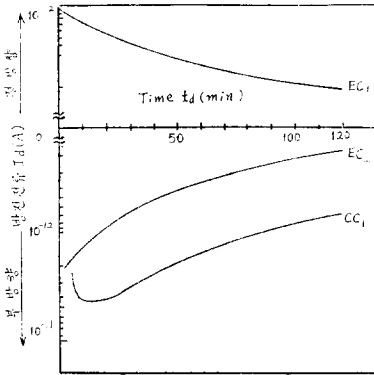


그림 8. 방전전류—시간특성
Fig. 8. discharge current VS discharging time characteristics

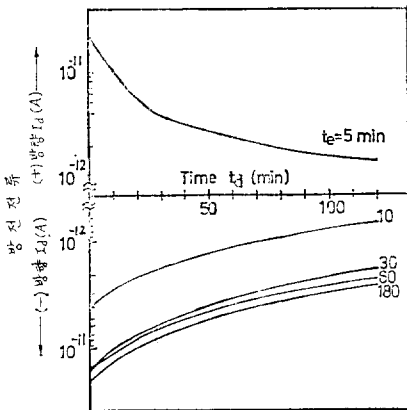


그림 9. 방전전류—시간 특성
Fig. 9. Discharge current-disdarging time characteristics

로 하여 표준실험 상태에서 대전시킨 시료를 단락시킬 때의 방전전류를 그림 8에 표시하는데, 그림 7과는 差異가 있는 특성임을 알 수 있다.

(3) 帶電時間 의존성

코로나 전압 $V_c = -10KV$, 스크린 電壓 $V_s = -2000V$ 로 하고 표준실험 상태에서 帶電時間(t_e)을 변화시키면서 시료를 대전시킨 후 실험방법에 의거 코분자 표면 위에 아파닥을 도포한 후 측정된 放電電流특성을 그림 9에 표시한다. 帶電期間이 증가함에 따라 放電電流의 크기는 포화하는 경향이 있으며 대전시 전류의 방향과 短絡時 電流의 방향이 같게 되려고 하는 帶電期間은 -負 코로나 帶電에서는 5~10분 이었으나 正 코로나 帶電에서는 60~90분으로 보다 길게 됨을 알았고, 兩極性 모두 帶電期間이 길게 되면 동일한 경향이 있었다.

(4) 帶電時的 電界의존성

코로나電壓 $V_c = -10KV$ 로 하고 표준실험 상태에서 스크린 전압 V_s 를 변화시키면서 코로나 대전시킨 시료로부터 관측된 放電電流 특성을 그림 10에 표시한다. V_s 에 따라 放電電流의 방향이 두가지로 분류되며 高電壓으로 됨에 따라 방전전류의 방향이 대전시 대전전류와 같은 방향으로 흐르는 異常放電電流가 관측되었다.

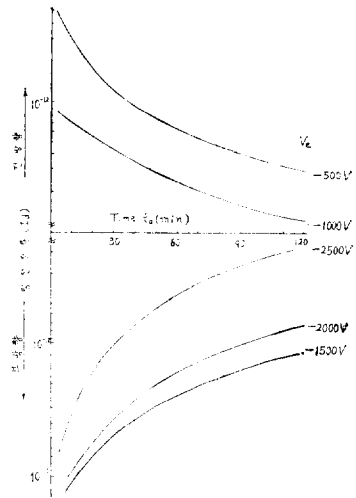


그림 10. 방전전류—시간특성의 V_s 의존성
Fig. 10. The dependence of I_d VS t_d characteristics on V_s .

제 4 장 고 찰

高分子材料의 帶電現象은 電荷의 발생과 소멸의 과정으로 지배된다.

氣中코로나放電에 의하여 절연물 표면에 電荷를 공-

급하고 있을 때는 帶電電荷—絶緣物—金屬의 구조(C-I-M)로써 전압을 인가하고 있는 것으로 되며, 절연물의 양면에 電極을 둔(M-I-M) 구조에 전압을 인가한 경우와는 다르다.

氣中코로나放電에 의하여 電荷를 고분자재료 표면에 공급시킬때 흐르는 帶電電流値는 금속간(M-I-M)에서 보이는 충전시의 전류보다 크고, 또한 帶電電荷의 종류에 대한 극성효과가 현저히 나타나는 것으로 보아 電荷가 고분자 재료 표면에 공급되면 재료속으로 電荷가 점차로 주입되고 있음을 시사한다.

그리고 시료표면에 도전성 물질의 도포 혹은 Au 증착을 행한후 電荷를 공급할 때는 시료표면에 직접 電荷를 퇴적시킬때와는 매우 다른 특성을 나타내므로 高分子材料표면의 상태에 따라 電荷가 注入하는데 난이 가 있음을 알 수 있다.

종래 電氣絶緣材料의 절연 파괴기구를 구명하기 위하여 高電界下의 電氣傳導를 연구하는 수단이 유효시 되어 왔으나 근래 C-I-M 구조를 응용하여 연구하려는 경향이 있다. 이상은 주로 帶電電流의 결과에 대한 검토이었으나 放電電流에 대하여 살펴보겠다.

금속—절연체—금속 구조의 시료에 전압을 인가할때 시간의 경과와 더불어 감소하는 電流가 관측되고 또한 이를 단락하면 그림 11에 표시한바 같이 短絡時에는 充電時의 電流방향과 반대방향으로 흐르는 것이 일반적인 현상으로 소위 正常 방전전류가 관측된다.

단락시 방전전류가 흐르는 원인이므로써 쌍극자의 재

배향으로 인한 것, 고전계 인가에 의하여 내부적으로 여기된 電荷가 반대극성의 전극을 향하여 이동하므로써 空間電荷의 形成으로 인한 것 및 트랩프로 부터 풀려나온 캐리어가 내부공간 전하전계에 의하여 드리프트 하든가 혹은 확산에 기인한 것을 생각할 수 있다. 氣中코로나 放電에 의하여 電荷가 공급된 시료를 단락하면 특이한 放電電流가 흐름을 관측하였다.

시료의 표면상태, 이온의 종류⁽⁴⁾ 및 전하공급시간 즉 帶電時間 등에 따라 그 특성에 차이가 있으나 대체로 대전시간이 충분히 길게 되면 단락시 방전전류는 항상 異常방전전류 방향으로 흐른다. 이것이 쌍극자에 기인한 것이라면 正常 방향으로 되어야 하나 그렇지 않기 때문에 쌍극자의 재배향으로는 설명되지 않는다. 한편 전극과 시료의 접촉 상태의 성질에 따라 주입전하의 분포는 전극 가까이에서 농도 구배가 증가되므로 확산에 의한 전류성분이 증가하여 단락시 異常전류가 흐를 가능성이 있으며 인가 전압이 낮을 경우에는 이것이 유효한 모델로 될 수 있다. 또한 電極으로 부터 電荷주입이 일어나는 경우 주입電荷의 일부는 시료내의 트랩프로 붙잡힌다. 이러한 상태로 있는 시료의 양면을 단락하면 트랩프로 부터 열적으로 풀려나온 캐리어가 공간전하전계에 의하여 구동되므로써 의외회로에 전류가 관측될 수 있다.

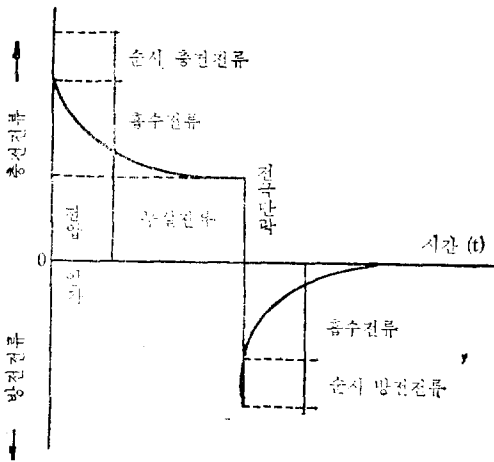
코로나放電에 의하여 발생한 전하가 시료의 上部전극에서 주입하면 공간전하가 생성된다. 주입電荷의 일부는 깊은 트랩프로 주위에 트랩되고, 실온에서는 거의 풀려나오지 않으나, 주입電荷의 어느 부분은 얇은 트랩프로 준위⁽¹¹⁾에 트랩될 것이고 여기에서 풀려나온 전하가 放電電流에 기여한다고 생각할 수 있다.

얇은 트랩프로 준위에 트랩된 電荷밀도가 不部面보다 上部面부근에 많이 있다고 하면 단락회로에서는 正常 방전전류가 관측될 것이지만 上部面보다 下部面 부근에서 트랩된 電荷가 빨리 트랩프로 준위로 부터 풀려나온다면 電荷밀도는 上部面보다 下部面 근처가 많게 되어 異常放電電流가 흐르게 될 것으로 추정할 수 있다.

그리고 시료표면위에 鐵製전극(Brass)을 놓고 고전압을 인가한 경우의 단락시의 전류(E_1)가 異常 放電電流를 나타내는 것도 시료표면과 전극 사이의 마이크로 공극(micro air gap)에서 일어나는 氣中코로나放電 때문에 시료면에 이온성電荷의 주입에 기인한 것으로 추정할 수 있다.

제 5 장 결 론

그림 11. 충—방전전류특성
Fig. 11. charging & discharging current VS time characteristics.



氣中코로나放電에 의하여 발생한 이온성電荷를 합성

고분자재료에 공급할 때 고분자 재료가 帶電되는 현상을 검토하기 위하여 합성고분자재료의 표면에 電荷를 직접 공급하였을 때와 電極系 위에 공급하였을 때, 그리고 금속-고분자재료-금속 구조에 단지 전압을 인가할 때 등 각각의 구성에 대하여 帶電 및 充電電流와 放電電流를 측정한다. 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 금속-고분자재료-금속 구조에서의 充電 및 放電電流의 특성과 電荷를 직접 고분자표면에 공급한 구조인 코로나帶電電荷-고분자-금속구조의 특성을 서로 비교하므로써 시료표면에 電荷가 있으면 시료내에 電荷가 注入되어 帶電되는 사실을 확인하였다. 注入된 電荷는 절연과피의 전구과정인 電氣傳導특성의 변화에 영향을 준다.

(2) 시료표면에 Au증착, Al증착, Al箔 및 아파닥 도포 된 위에 電荷를 공급할 경우의 帶電電流의 크기가 시료표면에 직접 공급하였을 때와는 현저히 적은 사실로부터 합성고분자재료의 표면상태에 따라 電荷의 注入에 난이가 있음을 알았다.

(3) 코로나放電장치에서 코로나放電電壓의 극성을 변화시키므로써 생성되는 이온에는 그 성질과 종류가 동일하지 않음을 알았다. 이로 인하여 帶電 電流 특성에 극성의존성이 있고, 또한 시료내에 電荷가 注入된다는 것을 지지함을 알았다.

(4) 일반적으로 관측되는 放電電流의 방향은 充電 및 帶電電流가 서로 반대방향으로 흐르는 正常 방전전류로 되나, 코로나放電에 의하여 電荷를 공급한 시료에서는 반대의 현상 즉 異常방전전류가 관측되었다. 이는 시료내에 電荷가 注入된다는 사실을 지지하는 수단으로도 된다.

(5) 帶電期間을 충분히 길게 하면 극성에 관계없이 단락시 放電電流는 모두 異常 방전전류가 된다. 그러나 帶電期間의 長短 및 코로나帶電時 시료의 표면상태에 따라 異常전류가 관측되지 않는 경우도 있다. 異常放電電流에 대한 모델은 트랩준위의 상태와 트랩으로부터 풀려나온 電荷密度分布의 변화상태에 기인한 것으로 추정 하였다. 합성고분자 재료의 대전현상에 대하여 실험결과에 입각한 정량적분석으로 기초적인 고찰을 하였으나 추후 구명해야할 문제점이 많이 있다고 사료된다.

끝으로 本研究는 文敎部 政策研究課題研究費(1977年)로 이루어 졌음을 附言하고 관계당국에 깊은 사의를

표하는 바이다.

참 고 문 헌

- (1) G.M. Sessler & et al:
Foils-electret microphones
J. Acoustical Soc. Vol 40 No. 6 (1966)
- (2) B. Gross & et al:
short-circuit currents in charged dielectrics
and motion of zero-field planes.
J. appl. phys Vol 43 No. 5 (1972)
- (3) 日本電氣學會技術報告:
絶緣材料の部分放電による劣化(Ⅲ)
No. 106 (1973)
- (4) M. Nawata:
高分子材料の樹脂狀放電劣化に關する研究
M. Nawata의 學位論文, 1973
- (5) D.K. Davis & et al:
Carrier transport in polyethylene
J. phys. D: Appl Phys Vol 5 (1972)
- (6) J.B. Jordan:
Bipolar charging of low density PE
under corona discharge.
J. chem. soc Vol 122 (1975)
- (7) T.J. Sonmonstine & et al:
Transient injection current in insulator
with pre-existing trapped space charge.
phys, Rev. B Vol. 12 (1975)
- (8) M.M. Shahin
Mass-spectrometric studies of corona
discharges in air atmospheric pressures.
J. chem. phys Vol 45 (1966)
- (9) M.M. Shahin
use of corona discharges for the study of
ion-molecule reactions.
J. chem. phys Vol 47 (1967)
- (10) 李德出: 高電界印加폴리에틸렌의 熱자극전류
大韓電氣學會誌 27-3-1 (1978)
- (11) 李德出: 高分子內케리야의 트랩핑현상에 관한
연구
大韓電氣學會誌 26-4-4 (1977)