

코로나帶電된 폴리스로폰의 表面電位減衰에 관한 實驗的 考察

論 文
33~1~4

An Experimental Consideration on the Decay of Surface Potential from Corona Charged Polysulfone Films

李 德 出* · 韓 相 玉** · 徐 榮 一*** · 金 弼 性****
(Deok-Chool Lee · Sang-Ock Han · Young-Il Seo · Pil-Sung Kim)

Abstract

Both of the isothermally and thermally stimulated surface potential decay characteristics(SPDC) have been investigated not only in corona charged polysulfone (PSF) which is one of heat resistant polymer, but also in corona charged polyethyleneterephthalate (PET) and polyfluoroethylene propylene (Teflon FEP) under the same experimental condition.

PSF and PET shows similar SPDC in the high temperature region. Also the effect of polarity on SPDC observed from PSF and Teflon FEP shows almost the same phenomenon.

From these results, we suggest that the mechanism on SPDC of PSF could be explained as the bulk conductivity from the characteristic analysis concerning PET and electron affinity from characteristic analysis concerning Teflon FEP.

1. 序 論

合成高分子 材料은 우수한 전기절연성, 기계적성질, 안정성 및 가공성을 가지고 있기 때문에 구조재료, 섬유재료 및 전기 절연재료등으로 광범위하게 사용되고 있다. 최근 실용상 요청으로 耐熱性高分子 材料의 개발이 활발하게 행하여 지고 있으나 이의 電氣物性에 관한 연구는 매우 지연되고 있는 실정이다. 일반적으로 高分子材料가 높은 電氣 絶緣性을 가지고 있기 때문에 한번 축적한 電荷는 소멸되지 않고 帶電狀態로 남게 된다. 이로인하여 産業系에 障災害를 일으키는 경우도 있다. 반면 고분자재료가 간단한

조직원으로 쉽게 帶電하는 현상을 이용하여 음향기기 외에 집진필터 및 醫用材料等 能動素子材料로서의 응용에 매우 관심이 집중되고 있다.

高分子表面을 帶電시키는 방법으로는 接觸, 剝離, 磨擦 및 코로나放電등의 수단을 열거할 수 있겠으나 코로나放電에 의한 대전법은 正負케리아의 分離가 가능하고 분위기에 따라 케리아의 종류를 변화시킬 수 있는 특징을 가지고 있어서 많이 이용되고 있다. 종래 폴리에틸렌^{1), 2), 3)} (PE), 폴리에틸렌 테레프탈레이트^{4), 5)} 대하여 코로나帶電 電位減衰의 연구는 많이 수행되어 帶電機構는 어느정도 구명되어 지고 있으나, 아직도 불명한 점이 많이 있을뿐 아니라 이들 수단을 이용하여 다른 高分子 材料에 적용되는 예는 거의 없다.

본 연구는 高溫下에서 絶緣材料 및 機能性 素子用 재료로서 주목되고 있는 耐熱性材料인 PSF을 시료로 해서 코로나放電에 의하여 시료표면위에 電荷를

*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 助教授
***正 會 員 : 부천공고 電氣科 教師
****正 會 員 : 서울공고 電氣科 教師
接受日字 : 1983年 10月 6日

균일하게 공급시킨 후 표면전위변화특성을 관측하고 이들로 부터 얻은 特性에 대한 기구해석을 불소계 고분자인 테프론 FEP와 전기물성이 많이 구명된 PET로 부터의 표면전위특성과 비교하면서 고찰하였다.

2. 實驗

2.1 시료 및 전극계

본실험에 사용한 시료는 耐熱性高分子인 폴리스프론(PSF 日本 TOREI 社製, 30 μm)을 주로 택하였고 이로부터 얻은 실험결과를 비교하면서 考察하기 위하여 物理的, 化學的 性質 및 電氣的 性質이 다소 구명된 폴리에틸렌테프탈렛(PET, 日本 TOREI 社製 25 μm) 그리고 불소계 高分子인 테트라플로오르에틸렌(TFE)와 헥사 플로오르프로필렌(HFP)의 共重合體(美 Dupont 社製, 25 μm, 상품명으로써 테프론FEP로 불리어 지고있다. 이하 테프론FEP로 개재함)를 시료로 택하였다. 이들 시료로 부터 관측된 表面電位減衰를 화학구조적으로 이해하기 위하여 본실험에 사용된 시료의 화학구조를 표 1에 표시하여 둔다.

표 1. 각종시료의 물리적 성질 및 화학구조
Table 1. Physical properties and chem. structure of various polymers

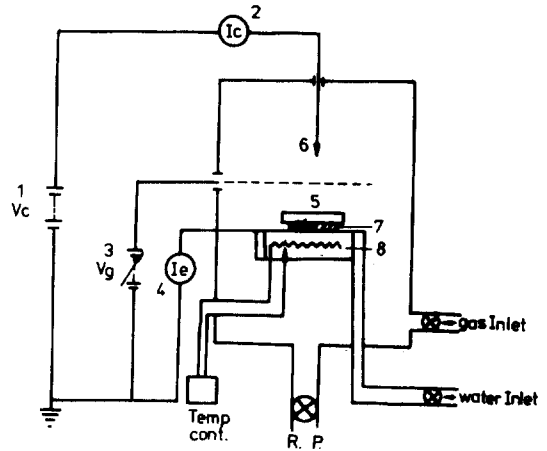
| POLYMER | d | TM | Tg | Chem. Structure |
|---------|----|-----|----|---|
| FEP | 25 | 290 | 85 | $\left[\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array} \right]_m \quad \left[\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array} \right]_n$ |
| PET | 25 | 265 | 80 | $\left[-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{C}(\text{H})_2-\text{C}(\text{H})_2- \right]_n$ |
| PSF | 30 | 350 | 90 | $\left[\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\right]_n$ |

전극재료로서는 99.999[%]인 Al, 아과닥(탄소폴로이드 용액, 英國製) 및 실버페스트(日本 서진상사)를 택하였으나 주로 실버페스트를 이용하였다.

전극의 직경을 전류밀도 계산을 용이하게 하기 위하여 3.6[cm]로 해서 전극면적을 10[cm²] 되게 하였다.

2.2 코로나帶電裝置

본실험에 사용한 장치는 前報에^{6),7)} 사용되었던 코로나 帶電裝置를 그림 1에 도시한 개략도와 같이 실험에 편리하도록 개량하여 이용하였다.



- 1. corona voltage source
- 2. corona discharge
- 3. screen voltage source
- 4. corona charging current
- 5. specimen
- 6. needle electrode
- 7. electrode
- 8. heater

그림 1. 코로나 帶電장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of the corona charging system

2.3 實驗方法

코로나 帶電前에 시료의 한쪽면에 導電性페인트인 아과닥이나 실버페스트를 도포한 다음 코로나 放電部에 설정하고 진공도를 10⁻³ Torr 정도로 한 후 N₂ 와 O₂ 를 분배로 부터 조절변을 통하여 4:1 비율로 방진부에 유입시킨다. 시료의 온도를 연구목적에 따라 소정의 온도치로 溫度調節器를 사용하여 일정하게 유지시키고 스크린그리드전압 Vg 를 인가한 후 코로나 放電開始電壓 Vc 를 인가한다. 소정의 溫度를 일정하게 유지 하면서 코로나 帶電한 상태로 소정의 帶電時間동안 시료를 통하여 흐르는 전류를 측정하여 둔다. 연구목적에 따라 설정된 帶電時間이 끝나면 코로나帶電된 狀態로 시료의 溫度調節部와 電熱線의 入力 스위치를 끄고 즉시 냉각수를 循環시켜 시료의 溫度를 실온(R. T) 까지 냉각시킨다음 코로나放電部의 電源스위치를 끈다. 그리고 나서 시료의 上部면에 도전성페인트를 도포한다음 帶電된 시료의 表面電位減衰를 表面電位計로 소정의 時間동안 等溫的으로 측정하고 아울러 온도를 一定한 비율로 상승시키면서 表面電位減衰 特性도 測定한다.

3. 實驗結果

3.1 폴리프로펜의 典型的인 表面電位減衰

두께 30[μm]인 PSF 表面에 코로나電壓 $V_c = -0.1$ [MV], 스크린그리드電壓 $V_g = -1$ [KV], 인가시간 $t_c = 5$ [min], 試料溫度 $T_c = 30$ [$^{\circ}\text{C}$]로 코로나 帶電시키고 실험방법에 따라 測定된 表面電位(V_s)의 전형적인 特性을 그림 2에 도시한다.

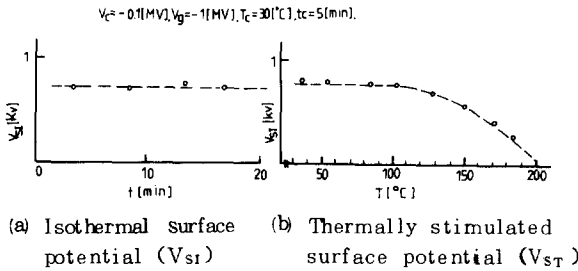


그림 2. 코로나 帶電된 PSF의 典型的인 表面電位特性
Fig. 2. Typical surface potential characteristics from corona charged PSF

그림 2에서 (a) 곡선은 等溫電位(V_{SI}) 特性 (b) 곡선은 熱刺戟電位(V_{ST}) 特性을 나타내며, V_{SI} 는 時間의 경과에 거의 변화가 없었으나, V_{ST} 는 試料溫度 100[$^{\circ}\text{C}$] 부근까지는 거의 일정하다가 100[$^{\circ}\text{C}$] 부근 부터 현저히 減衰하는 현상이 觀察되었으며 試料의 溫度變化가 크게 關係하고 있음을 알았다.

3.2 印加電壓 및 極性 依存性

上記 1) 항의 실험조건에서 코로나 방전 전압 $V_c = 0.1$ MV로 일정히하고 스크린그리드 電壓 V_g

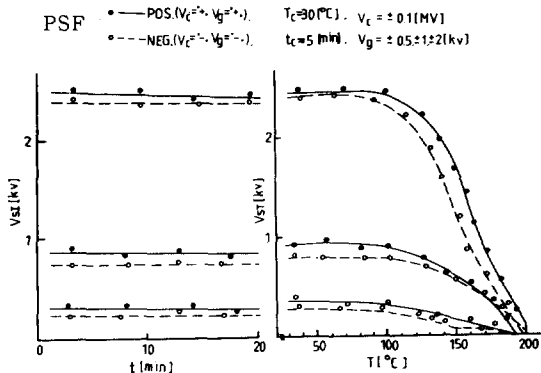


그림 3. 표면전위특성의 극성 및 전압 의존성
Fig. 3. Dependence of the surface potential (V_s) characteristics on V_g and polarity

0.5, 1, 2 KV로 변화시켜 시료에 미치는 전압 V_g 의 영향을 觀察하였으며, 극성변화는 $V_c = -0.1$ MV로하고, V_g 도 負電壓을 인가하는 方式을 채택하여 극성을 변화시켰다. 이러한 과정으로 대전된 PSF의 표면전위 특성을 그림 3에 도시한다.

대체적으로 $T_c = 30$ [$^{\circ}\text{C}$]에서 코로나帶電된 PSF의 表面電位特性에는 極性效果나 印加電壓 依存性이 거의 없었으나 V_{ST} 에서 試料에 인가한電壓이 높을수록 100[$^{\circ}\text{C}$] 부근에서 減衰하는 비율이 매우 급하게 나타난다.

3.3 코로나帶電時 試料溫度의 영향

試料의 溫度에 따라 V_{ST} 가 變化하기에 $V_c = \pm 0.1$ [MV], $V_g = \pm 2$ [KV], $t_c = 5$ [min]으로 일정하게 하고 試料溫度 T_c 를 室溫에서 180[$^{\circ}\text{C}$]까지 변화 시켰을때 表面電位特性을 그림 4에 도시한다.

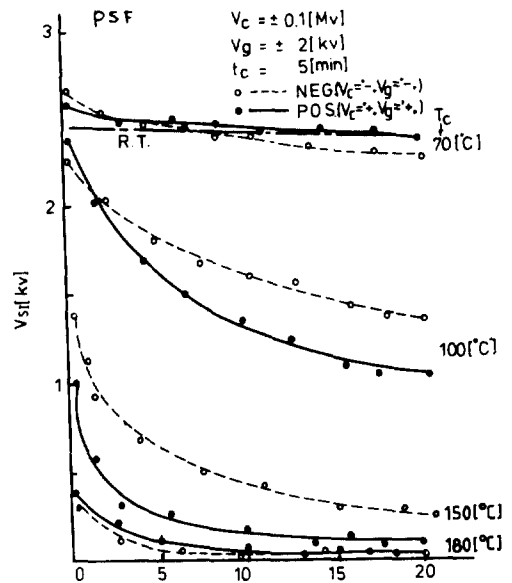


그림 4. 표면전위 특성의 온도 의존성
Fig. 4. Dependence of V_s characteristics on Temperature under corona charging.

실온(R.T)부터 70[$^{\circ}\text{C}$]의 온도범위내에서 대전된 시료의 V_{SI} 는 거의 변화가없고, 極性效果도 없었으나, 100[$^{\circ}\text{C}$]이상의 T_c 로 대전된 시료의 V_{SI} 에서는 현저히 감소하고 負極性이 正極性보다 큰값을 나타내므로 極性效果가 있음을 알 수 있다. 이러한 상은 T_c 가 100[$^{\circ}\text{C}$]이상의 온도영역에서 코로나帶電中 負極性캐리어가 正極性캐리어 보다 PSF內에

서 트랩핑 현상이⁸⁾ 많이 작용하고있음을 추정할 수 있다.

3.4 PSF의 코로나 帶電電流

코로나帶電時 試料의 溫度에 따라 V_{SI} 에 極性效果와 減衰현상이 있었기에 $V_c = \pm 0.1 [MV]$, $V_g = \pm 2 [KV]$, $t_c = 10 [min]$ 으로 일정하게 하고 T_c 를 변화시키면서 코로나 帶電中 試料를 통하여 흐르는 帶電電流特性을 그림 5 에 도시한다.

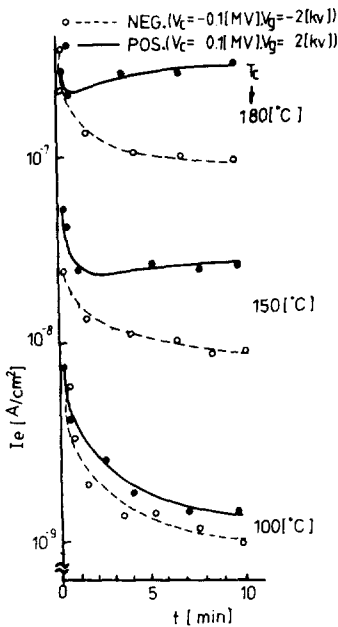


그림 5. PSF의 코로나帶電電流特性
Fig. 5. Corona charging current versus charging time of PSF

T_c 가 $100 [^{\circ}C]$ 이상의 온도에서 正極性코로나帶電時의 電流가 負極性코로나帶電時의 電流보다 큰값을 나타내고 있기에 極性效果가 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 코로나放電에 의하여 注入된 正極性케리아는 벌크(bulk) 內를 용이하게 이동함을 나타내고, 負極性케리아는 벌크內 移動이 곤란함을 알 수 있다. 이는 前項에서 추정된 바 負極性케리아가 PSF 內에 트랩핑현상이 $100 [^{\circ}C]$ 이상에서 발생하고 있다는 사실을 지지 할 수 있다.

3.5 印加電壓 依存性 ($T_c = 100 [^{\circ}C]$ 일정)

코로나帶電時 試料溫度 T_c 가 $100 [^{\circ}C]$ 이상에서는 그림 4 에 도시한 바와 같이 V_{SI} 에 極性效果와 減

衰현상이 현저하기 때문에 $V_c = -0.1 [MV]$, $t_c = 5 [min]$, $T_c = 100 [^{\circ}C]$ 로 一定하게 하고 V_g 만을 $-0.5, -1, -2, -3 [KV]$ 로 變化시켰을때 V_{SI} 의 特性을 그림 6 에 도시한다.

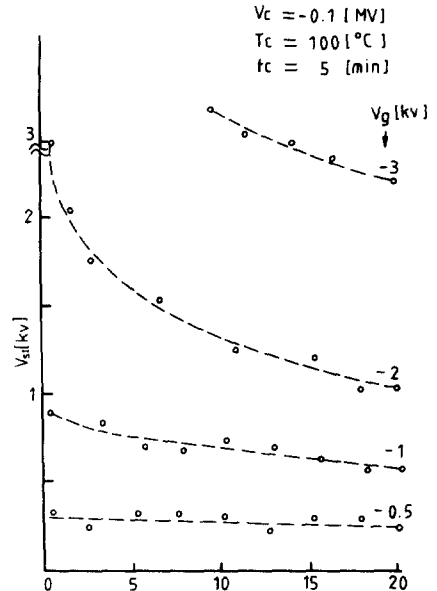


그림 6. 高温에서 帶電된 PSF의 V_s 와 印加電壓과의 관계

Fig. 6. Relation between applied voltage (V_g) and surface potential characteristics of PSF which have been charged in high Temp. region by corona discharge

V_g 가 $-1 [KV]$ 以下에서는 대체적으로 減衰현상이 없었으나 $-2 [KV]$ 이상에서는 減衰현상이 현저하다. 이는 V_g 가 높게 될 수록 급준하게 減衰한다는 家田氏의⁹⁾ 研究結果와 일치한다.

4. 實驗結果의 考察

일반적으로 絶緣物表面上에 帶電된 電荷는 時間의 경과와 더불어 消滅하여가며 그경로는

㉠ 大氣中の 放電이나 電荷의 再結合에 의한 전하의 누설

㉡ 表面에 沿한 전하의 누설

㉢ 體積方向으로 전하의 누설등으로 크게 나눌 수 있겠으나 ㉠에 대한 것은 다른 것에 비하여 거의 무시될 수 있다는 家田氏의 報告⁸⁾ 가 있고 ㉡에 대한 것도 沿面方向의 확산이나 연면누설저항에 의한 영향이 크지 않다는 角田氏의 報告^{9), 10)} 등을 인용하면 본

실험에서도 대전된 전하는 ㉠과㉡에 의한 전하의 누설을 무시하고 주로 시료의 「體積」이라는 경로를 통해서 消滅되는 것으로 간주할 수 있겠다.

이하 코로나 대전된 PSF의 表面電位特性中에 V_{ST} 가 100 [°C] 부근에서 감쇠현상을 나타내는 기구와 T_c 를 100 [°C]로 한 시료에서 측정된 V_{ST} 에는 極性效果가 나타내는 機構를 解析하기 위하여 特性的으로 어느정도 구명된 PET와 테프론 FEP를 가지고 PSF의 경우와 동일한 실험조건으로 대전시켰을때 시료로부터 측정된 表面電位特性과를 서로 비교하면서 고찰한다.

4.1 PET의 表面電位特性

$V_c = \pm 0.1$ [MV], $V_g = \pm 2$ [KV], $T_c = 30$ [°C]
 $t_c = 10$ [min]으로 코로나 帶電시킨 PET로 부터 관측된 V_s 特性을 그림 7에 도시한다.

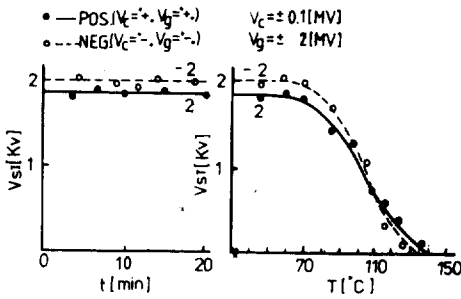


그림 7. 코로나 帶電된 PET의 表面電位特性
 그림 7. The surface potential characteristics of corona charged PET

V_{ST} 와 V_{ST} 모두 그림 3의 PSF에서와 같이 거의 極性效果가 없었으나 PET의 유리전이온도 (T_g) 부근인 80 [°C] 쯤의 溫度領域에서 V_{ST} 가 급격히 減衰하는 경향이 있다.

이러한 溫度領域은 Sasabe 氏¹¹⁾가 결정화도가 각각 다른 5가지 종류의 PET에 대하여 측정한 導電率대 溫度特性(그림 8참고)으로 부터 도전율이 80 [°C] 부근에서 급히 증대하는 것과 대응되는 것이며 코로나 대전전하가 벌크의 도전율에 기인하는 진류에 의하여 중화되는 것으로 생각할 수 있다.

이러한 사실로부터 코로나대전된 PSF의 V_s 가 100 [°C] 부근에서 현저히 減衰하는 현상에 대한 機構解析을 PET의 V_s 特性으로 부터 설명 할 수 있다. 이는 그림 4의 溫度影響에서 T_c 가 180 [°C]에서 코로나 帶電된 試料의 V_s 特性이 高溫領域에서 가동 이온의 特性¹²⁾으로 부터 이해될 수 있고, 앞에 기술

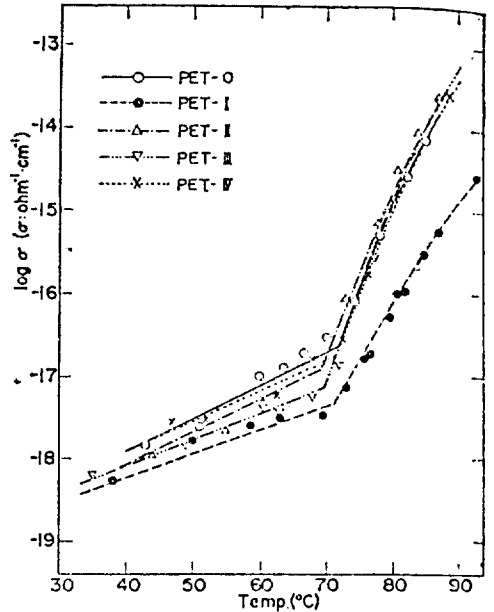


그림 8. PET의 도전율과 온도 특성 (sasabe 氏의 보고 인용)
 Fig. 8. Temp. versus conductivity characteristics of PET (by sasabe-co-worker)

한 벌크의 電氣傳導에 의하여 대전전하가 중화될 가능성이 크게 지지하고 있다.

4.2 테프론 PEP의 表面電位特性

$V_c = \pm 0.1$ [MV], $T_c = 30$ [°C] $t_c = 10$ [min]으로 일정하게 하고 V_g 를 $\pm 0.5, \pm 1, \pm 2$ [KV]로 변화시키면서 코로나 帶電된 테프론 FEP로 부터 측정된 表面電位特性을 그림 9에 도시한다.

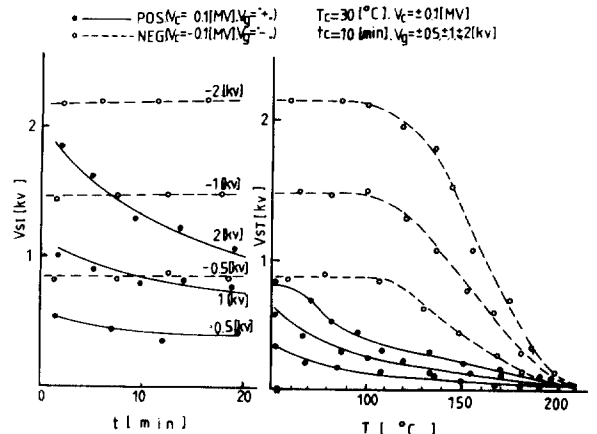


그림 9. 코로나 帶電된 테프론 FEP의 表面電位特性
 Fig. 9. The surface potential characteristics of corona charged Teflon FEP

이로부터 알 수 있듯이 테프론 FEP에서는 현저한 극성효과가 인정되며 특히 V_{ST} 특성에서 自極性 케리야는 110[°C] 以下에서는 거의 減衰하지 않으나 正極性 케리야는 실온(RT)에서도 서서히 減衰하고 있음을 알 수 있다. 이는 正, 負極性 케리야의 輸送 과정에 매우 차이가 있음을 추정할 수 있고 이 사실은 동일 실험 조건으로 테프론 FEP 上 코로나 帶電時 帶電電流 특성을 도시한 그림 10으로 부터 알크내 正, 負極性 케리야의 移動에 난이 가 있음이 인정되기에 上記의 추정을 역시 지지할 수 있다. 이러한 현상은 PSF에서도 관측되었으나 테프론 FEP에서는 T_c 가 30 [°C], PSF에서는 T_c 가 100 [°C] 이상의 溫度 領域에서 極性 효과가 존재한다는 것이 다를 뿐이다.

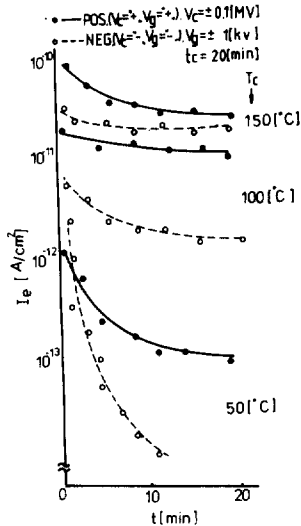


그림 10. 테프론 FEP의 코로나 帶電電流 특성
 Fig. 10. Corona charging current versus charging time of Teflon FEP

各種 元素에 대한 電子親和力을 표 2에 표시하였고 표 1에서 알 수 있듯이 弗素系高分子은, 電子親和力이 큰 弗素(F)가 함유되고 있음으로 주입된 負極性 케리야는 불소에 의하여 알크내에서 안정하게 트랩 된다는 사실을 추정한다면 상기 正, 負極性 케리야의 수송 과정에 차이가 있을 것임을 이해할 수 있다.

표 2. 각종 원소의 電子親和力
 Table 2. Electron affinity of various atoms

| | | | |
|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| F ⁻ | 3.45 [ev] | H ⁻ | 0.80 [ev] |
| Cl ⁻ | 3.61 [ev] | CH ⁻ | 1.08 [ev] |

이 사실은 PSF에서도 CH₃가 電子親和力을 다소 가지고 있기 때문에 溫度 領域 着異는 있으나 테프론 FEP와 같이 極性 효과가 나타난다고 볼 수 있기에 高溫 領域에서 코로나 帶電된 PSF의 表面電位 특성에 極性 효과에 대한 機構를 제시 할 수 있다.

5. 結 論

高分子 表面에 電荷를 공급하여 帶電시킨 후 表面電位の 減衰 과정은 정전기 현상과 관련하여 매우 흥미롭고 응용면으로 주목되고 있는 분야이다.

본 연구는 기중 코로나 放電을 이용하여 耐熱性 高分子인 PSF 表面에 균일하게 帶電시킨 후 表面電位 減衰 특성을 관측한 바 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 試料의 溫度 T_c 를 30 [°C]로 하고 코로나 帶電시킨 PSF의 表面電位 특성은 極性 효과가 없고 100 [°C]인 溫度 範圍까지는 거의 表面電位 減衰가 없이 安定하였으나, 100 [°C] 이상에서는 현저하게 減衰한다.

이러한 결과를 電氣의 物性이 어느 정도 구명되어진 PET의 表面電位 특성과 比較 檢討하면서 表面電位の 減衰 현상은 알크의 전기 전도에 의하여 대전 전하가 중화되므로서 발생한다는 것과 관련시켜 그 機構를 제시하였다.

2) 試料의 온도 T_c 를 100 [°C]로 하고 코로나 帶電시킨 PSF의 表面電位 특성은 極性 효과가 현저히 있었다.

이러한 결과를 전자 친화력이 큰 불소를 함유한 불소계 고분자인 테프론 FEP의 表面電位 특성과 비교 검토하면서 PSF의 表面電位 특성에 極性 효과 의존성은 電子親和力과 관련시켜 그 機構를 제시하였다.

본 연구에서는 耐熱性 高分子인 PSF의 表面電位 특성에서 관측된 두가지 현상을 PET와 테프론 FEP와 비교하면서 실험적 현상만을 정리하여 그 機構를 解析하였으나 表面電位 減衰 특성은 여러가지 要因이 복잡하게 혼입되고 있음으로 간단한 機構로써 특성 전반을 해석하는 것은 다소 모순이 있을 것으로 생각되나 금후 엄밀한 理論式과 실험 결과간의 관계를 定量的으로 검토해 나갈 계획이다.

끝으로 본 실험에서 얻은 결과는 미흡한 점이 있겠으나 耐熱성 코로나 일렉트렛트의 기초 제작에 다소 參考가 될 것으로 믿는다. 아울러 본 연구의 일부는 현대 연구 활동 조성비로 이루어 졌음을 부연하고 관계 당국에 사의를 표하는 바이다.

參 考 文 獻

- 1) M. Ieda et al; "Decay processes of different kinds of surface electric charges across polyethylene film", J. J. A. P. 8. 6. (1969)
- 2) E. A. Baum et al; "Further observations on the decay of surface potential of Corona charged polyethylene films", J. phys. D.: A. P. 10 (1977)
- 3) J. MIZUTANI et al; "Surface potential decay in polyethylene," J. J. A. P. 20. 5. (1981)
- 4) 高田 et al; "PET 필름의 電流漸增現象의 發生條件とその考察," 日. 絶縁材料研究会資料 IM-71-8 (1971)
- 5) 高田 et al; "部分放電により帶電したPETP 필름의 電流漸增現象의 發生條件とその考察," Trans I.E.E.J 47-A 54 (1972)
- 6) 李德出外 1 人; "合成高分子材料의 帶電現象에 관한 基礎研究," 大韓電氣學會誌 28-10-3 (1979)
- 7) 李德出外 2 人; "Corona 放電中에 놓인 폴리에틸렌의 電氣傳導에 관한 研究", 仁荷 論文集 11號 (1983.2)
- 8) D.K. Davies; "Trapped charge on dielectric surfaces", E.R.A. Report No. 5170 (1966)
- 9) 家田 et al; "高分子表面電荷의 減衰過程", Trans. I.E.E.J. 88. 957.(1968)
- 10) 角田 et al; "針端放電による絶縁物の表面電位とその放電現象への影響", Trans I.E.E.J. 87. 1787 (1967)
- 11) H. Sasabe et al; "Effect of crystals on dielectric properties and D.C. conduction in polyethylene tere phthalate ", Poly. J. 2, 4 (1971)
- 12) 李德出外 2 人; "高温領域에서 耐熱性高分子内가동이온의 거동", 大韓電氣學會誌 31-11-5 (1982)