

폴리염화비닐(PVC)의 코로나 대전현상에 관한 연구  
 A study on the Corona Electrification Phenomena for Polyvinyl chloride (PVC)

박 구 범\* 황 명 환\*\* 조 기 선\*\*\* 이 덕 출\*\*\*\* 임 헌 찬\*\*\*\*\*  
 Park Gu Bum Hwang Myung Whan Cho Ki Sun Lee Duck Chool Lim Hun Chan

ABSTRACT

In this thesis, the electrification phenomenon was studied by measurement of charging current and discharging current in polymers when the carriers generated by corona discharge were supplied to the surface of polymers.

Corona charging current of PVC, polar and noncrystalline polymer, was larger than that of nonpolar and amorphous polymers. Corona charging current on the specimen of naked upper surface (CIM) was larger than charging current on the specimen of electrode made. Carrier injection differed from interfacial phase of polymer surface. The transfer phenomenon varied with chemical structure of polymer and then the polar effect of PVC was remarkable because of large electron affinity of Cl. In the characteristics of discharging current of PVC, the abnormal current was observed. It was supposed that this phenomena presented the trap of injected carriers in PVC and that static electricity phenomenon was generated by trap.

1. 서 론

고분자화학의 급속한 진보와 고분자 성형가공기술의 발달에 따라 출현된 합성고분자재료는 우수한 전기

절연성, 기계적 성질 및 가공성을 가지고 있어서 구조재료, 섬유재료 및 전기절연재료 등으로 광범위하게 사용되고 있다.<sup>1)</sup>

특히 전기절연분야에 있어서는 우수한 전기절연성과 광범위하게 변화될 수 있는 기계적특성 및 화학적 안정성이 높이 평가되어 고전압 전력기기, 케이블, 전자부품등 각종 기기절연분야에 널리 이용되고 있다.<sup>2)</sup>

일반적으로 고분자재료는 높은 전기절연성을 가지고 있기 때문에 한번 축적된 전하는 소멸되지 않고 帶電상태로 남게된다. 따라서 고분자재료가 간단한 조작

\*正會員 : 유한전문대학 전기과

\*\*正會員 : 인천대학교 산업안전공학과

\*\*\*正會員 : 전기공학과

\*\*\*\*正會員 : 인하대학교 전기과

\*\*\*\*\*正會員 : 전기공학과 박사과정

만으로 쉽게 대전되는 현상을 이용하여 음향기기 외에 집진필터 및 의용재료등 능동소자로서의 응용에 관심이 집중되고 있다.<sup>3)</sup> 반면에 이와같은 대전으로 말미암아 산업계에 障災를 일으키는 경우가 있으며 특히 대기중에 존재하는 이온성 전하가 합성고분자물질에 주입하여 대전되는 것이<sup>4),5)</sup> 섬유계에서 산업장해의 요인으로 되고 있음은 잘 알려진 사실이다. 고분자표면을 대전시키는 방법으로 접촉, 박리, 마찰 및 코로나 방전등의 수단이 있으며 코로나방전에 의한 대전법은 정·부 캐리어의 분리가 가능하고 분위기에 따라 캐리어의 종류를 변화시킬 수 있는 특징을 가지고 있어서 많이 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 고분자의 대전기구를 규명하기 위해 전기절연재료로서 광범위하게 사용되고 있는 유극성 고분자인 Polyvinyl chloride (PVC)를 주된 시료로 채택하고 코로나방전에 의해 시료표면에 캐리어를 균일하게 공급시킬때 흐르는 대전전류 및 방전전

류특성을 관측하고 이들 결과에 대한 고찰을 행하였다.

## 2 실험

### 2-1 시료 및 전극재료

본 실험에 사용한 시료는 有極性 고분자인 Polyvinyl chloride (PVC), Nylon 6 (Ny6)와 無極性 고분자인 Polyethylene (PE), Polystyrene (PS)을 사용했다. 이중에서 PVC와 PS는 無晶形이고, PE와 Ny6는 結晶形이며 Table 1은 실험에 사용한 시료의 물성과 화학구조를 나타낸 것이다. 전극재료로는 주로 도전성 Paste인 탄소Colloid용액(Aquadag, 英 Acheson Colloids Limited)을 사용하였고 고분자필름 하부면의 전극은 Au를 진공증착에 의해 직경 36mm로 하고 전극외측에는 보호환전극을 설치하였다.

Table 1. Physical properties and chemical structure of polymer materials

Sample	Feature		melting point (°C)	T <sub>g</sub> (°K)	Chemical Structure
Polyethylene	무극성	Crystalline	110	250	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ -\text{C}-\text{n} \\   \\ \text{H} \end{array}$
Polystyrene		Amorphous	240	403	$\begin{array}{c} \text{H H} \\     \\ -\text{C}-\text{C}-\text{n} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$
Mylon 6	유극성	Crystalline	215	330	$\begin{array}{c} \text{O} \\   \\ -\text{NH}-(\text{CH}_2)_5-\text{C}-\text{n} \end{array}$
Polyvinyl chloride		Amorphous	212	354	$\begin{array}{c} \text{H H} \\     \\ -\text{C}-\text{C}-\text{n} \\   \\ \text{H Cl} \end{array}$

### 2-2 실험장치

본 실험에 사용한 장치를 그림 1에 나타내었으며 미소전류측정은 Electrometer(日, Takeda Co. 8641)를

사용하였고, 그 구성은 정전압전원(英, Foster Co. 입력 96-124V, 출력 110±0.5%), 코로나전원장치(세일전기, DC±0-30KV), Grid전원장치(日, Hamamatsu. DC±0-2.5KV), 기록계(日, Watanabe.

SR6511) 및 코로나대전부(Bell-jar 및 Rotary pump)로 구성되어 있다. 방전전류는 Takeda TR 43 Chamber를 사용하였고 Chino Thermo Controller를 사용하여 온도를 일정하게 유지시켰다.

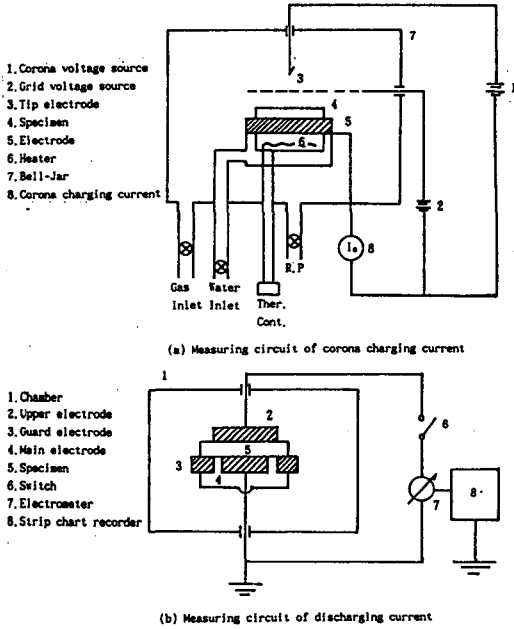


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

2-3 실험방법

코로나방전중에 놓인 고분자재료를 통하여 흐르는 전류의 측정은 다음과 같은 방법으로 실험하였다.

고분자재료의 한쪽면에 도전성 Paste인 Aquadag을 도포한 고분자재료를 코로나 방전부에 설치하고 코로나 방전부인 Bell-jar 내부는 Rotary pump를 사용하여 진공상태로 한 후 질소 80%, 산소 20%를 Regulator Valve를 통해 조절하여 주입시켰다. 대전시 온도는 30℃로 하고 Screen Grid전압 ( $V_g$ )를 인가한 후 코로나방전 개시전압( $V_c$ )를 인가하였다.

코로나대전중의 상태로  $I_c-t_c$ 의 특성을 미소전류계를 통해 측정하였다. 대전시 온도는 30℃, 코로나전압

$V_c = \pm 10KV$ , Grid 전압  $V_g = \pm 2.5KV$ 를 본 실험의 표준 실험조건으로 하고, 실험목적에 따라서 해당되는 조건만을 변화시켰다. 방전전류는 방전전류측정장치 속에 넣고 온도를 30℃로 한 후 5분이 경과하여 회로를 단락시켜 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1 코로나대전전류 특성

4가지 고분자재료(PE, PS, Ny6, PVC)의 시료표면 위에 코로나방전에 의해 발생한 전하를 공급하였을 때 시료에 흐르는 대전전류 특성을 그림 2에 도시한다.

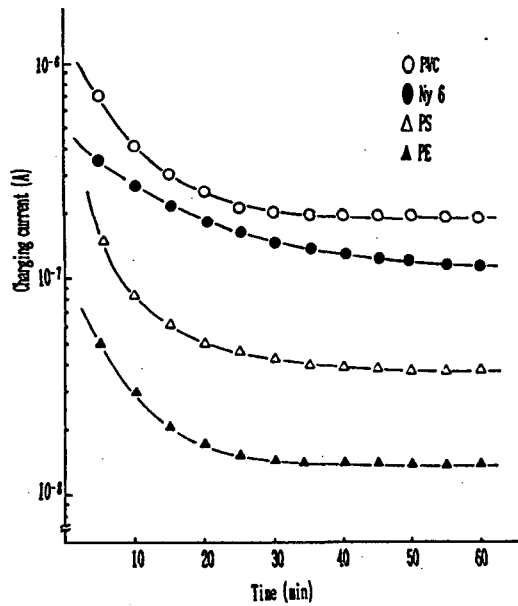


Fig. 2. Characteristics of charging current in polymer materials

M. Ieda<sup>6)</sup>가 제시한 각종 고분자의 구조와 Morphological features를 인용하면 유극성고분자인 PVC, Ny6가 무극성고분자인 PE나 PS보다 코로나대전전류가 크다. 그리고 무정형고분자인 PS와 PVC가 결정형고분자인 PE나 Ny6에 비하여 코로나대전전류가

크게 흐르고 있음을 알 수 있다. 이러한 사실은 PVC 내 캐리어의 주입과 이동이 용이함을 암시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 가장 큰 전류가 흐르고 있는 PVC를 주된 시료로 선택하여 대전현상을 조사 분석하였다.

### 3-2 전극구조 의존성

PVC 시료표면위에 직접 코로나대전한 경우 (CIM)의 대전전류와 시료의 상하부에 전극을 작성한 경우 (MIM)의 대전전류를 그림 3에 도시한다.

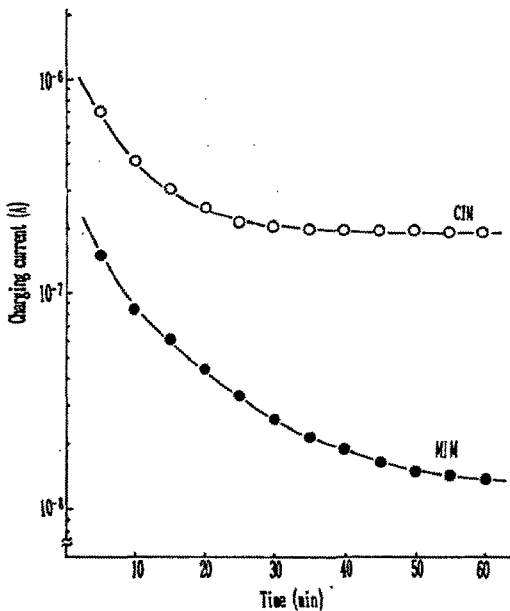


Fig. 3. Dependence of charging current on electrode structure

시료표면위에 직접 코로나대전한 경우의 대전전류는 시료의 전극위에 전계를 인가한 경우의 충전전류보다 15배 정도 큼을 알 수 있었다. 이로부터 시료표면과 축적전하층의 계면에서 시료중에 전하의 주입이 있음을 추정할 수 있다.

### 3-3 고분자표면상태 의존성

고분자시료의 표면상태에 따른 대전전류의 의존성을 조사하기 위해 코로나 대전을 행하기 전에 시료의 상부면에 아과당 전극을 도포하든지 Au를 증착한 후 코로나대전전류를 측정하여 그림 4에 도시한다.

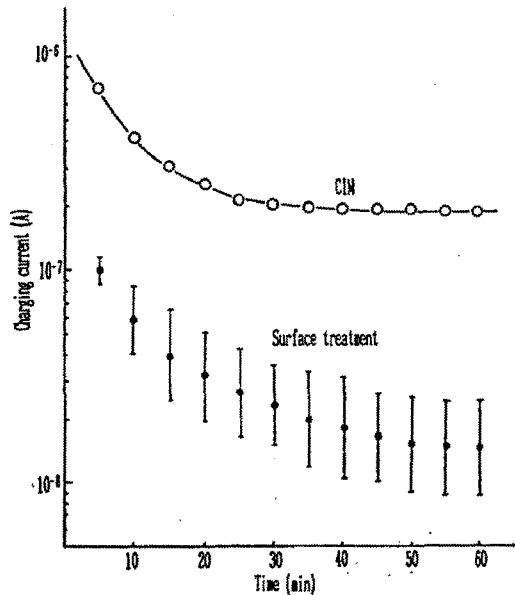


Fig. 4. Dependence of charging current on surface condition

측정결과로부터 알 수 있는 바와같이 표면에 전극 처리를 한 시료의 대전전류가 미처리 시료(CIM)보다 매우 작음을 알 수 있으며 이로부터 코로나대전시 고분자표면에서의 계면상태가 대전전류에 영향을 미치고 있으며 이는 전하주입을 어렵게하기 때문인 것으로 생각된다.

### 3-4 극성효과

코로나대전시 극성효과를 보기 위하여 정코로나대전시와 부코로나대전시의 대전전류를 그림 5에 도시한다.

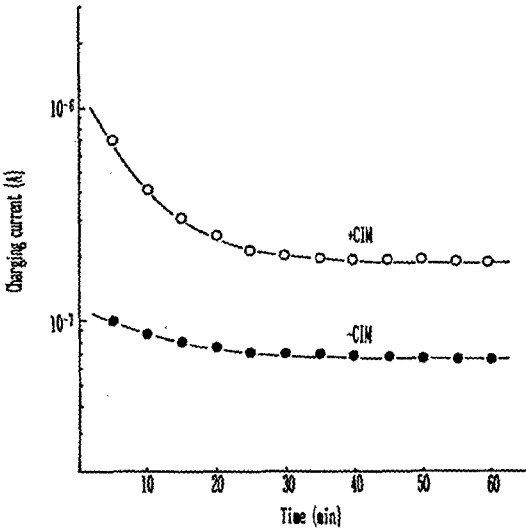


Fig. 5. Dependence of charging current on polarity

정코로나대전전류와 부코로나대전전류가 같은 방향을 나타내고 있으며 정코로나대전전류가 부코로나대전전류보다 크게 흐르고 있다.

이러한 현상은 PVDC (Polyvinylidenechloride)의 대전전류특성과 동일한 경향을 보이고 있다. PE에서는 PVDC와는 반대의 극성효과가 있었으며 PVDC의 정대전전류가 부대전전류보다 큰값을 나타내는 기구<sup>7)</sup>에 대해서는 이미 보고된 바 있으며 PVC에서도 PVDC와 같이 전자전하력이 있는 Cl이 함유되어 있기 때문에 극성효과가 현저하게 나타나는 것으로 추정할 수 있다.

### 3-6 방전전류특성

PVC를 50°C로 일정하게 유지시키고 코로나방전전압 ( $V_c$ )를 -10KV, 그릿드전압 ( $V_g$ )을 -2.5KV로 코로나대전시킨 다음 코로나대전된 시료표면을 아과닥으로 도포하고 양면을 단락하였을때 흐르는 방전전류특성을 그림 7에 도시한다.

### 3-5 온도 의존성

코로나대전시 시료의 온도를 실온에서 50°C, 60°C로 변화시켰을 때 코로나대전전류 특성을 그림 6에 도시한다.

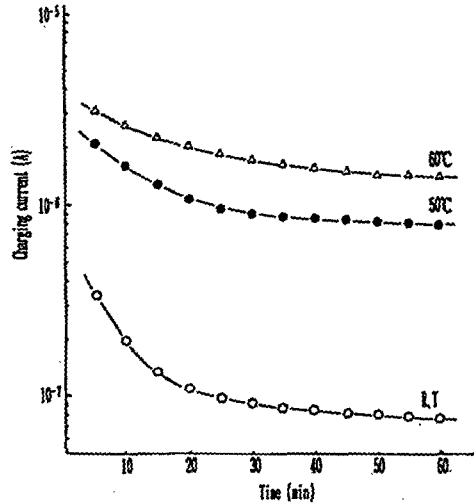


Fig. 6. Dependence of charging current on temperature under corona charging

온도가 증가할수록 코로나대전전류가 증가했으며 이는 온도가 증가할수록 Bulk내 분자의 열운동이 활발하여 전류가 증가하는 것으로 생각된다.

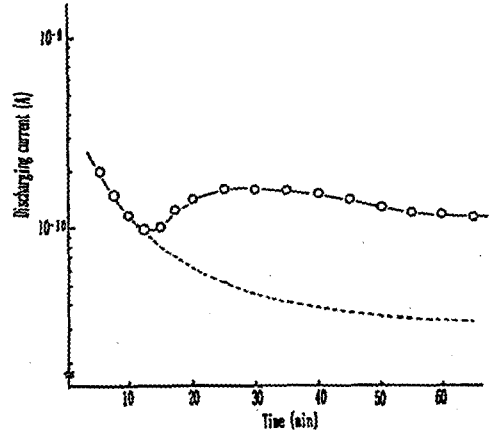


Fig. 7. Characteristics of discharging current of PVC

일반적으로 전압인가후 단락시 흐르는 방전전류는 점선으로 표시한 특성을 보이는 것이 정상적이나 코로나대전된 PVC의 방전전류는 시간의 경과와 더불어 급히 감소후 증가하다가 다시 서서히 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상으로부터 코로나대전시 주입된 이온이 PVC내에 트랩되어 공간전하로 존재하고 있는 것으로 추정할 수 있다. 일반적으로 고분자내에 전하가 주입되면 고분자내 결합이나 결정경계면, 무정형부분에 축적되어 이와같이 축적된 전하로 인하여 방전이 일어날 수 있으며 정전화제를 야기시키는 원인이 될 수 있다. 이와같은 결과로 부터 PVC가 자외선조사, 공기중의 이온 및 온도변화등 분위기변화로 인하여 PVC내 이온의 발생이나 이온의 주입으로 전하를 축적하게 되면 정전기현상이 일어날 수 있음을 제시할 수 있으며 앞으로 고전압 절연등에 사용되는 고분자박막에 대한 정전기현상에 대한 명확한 기구의 규명이 이루어져야 할 것으로 본다.

#### 4. 결 론

코로나방전에 의하여 생성된 캐리어를 고분자표면에 균등하게 공급하였을때 캐리어가 주입되는 현상을 검토하기 위해 방전 분위기조건 및 시료의 상태변화에 따른 대전전류를 측정하였으며 방전전류를 관측하였다.

이들 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유극성이 무극성고분자보다 코로나대전전류가 크고, 유극성이고 무정형고분자인 PVC의 코로나대전전류가 크게 흐른다. 이러한 사실은 PVC내 캐리어의 주입과 이동이 용이함을 암시하고 있다.
- 2) 시료표면에 직접 코로나대전한 시료(CIM)의 대전전류가 시료의 전극위에 전계를 인가한 시료(MIM)의 충전전류보다 컷으며 이는 코로나대전에 의해 시료내에 캐리어가 주입되는 것을 시사한다.

3) 고분자표면에 전극처리를 한후 캐리어를 공급했을 때의 대전전류의 크기가 미처리 시료보다 작았으며 이로부터 고분자 표면의 계면상태에 따라 캐리어 주입현상이 다름을 알 수 있다.

4) 고분자의 화학구조에 따라 정·부 캐리어의 이동현상이 다르며 특히 PVC는 전자친화력이 큰 Cl이 함유되어 극성효과가 현저했다.

5) PVC의 방전전류특성에서 특이한 異常방전전류현상이 관측되었다. 이러한 사실은 PVC내 캐리어가 주입되어 포획됨을 제시하고 있으며 이것은 정전기현상이나 재해와 관련하여 흥미로운 현상이며 이에대한 명확한 기구에 대한 연구가 행해져야 할것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- 1) 省部博之, “導電性 高分子 材料” CMC, 243 (1983)
- 2) G.M.Sessler et al, “Foil-electret microphones” J. Acoustil. Soc., Vol.40, No.6 (1966)
- 3) 練早典夫, “導電性 集塵技術 現狀 將來” 靜電氣學會誌, Vol.1, No.1, 23 (1977)
- 4) J.B.Jordan, “Bipolar charging a flow density PE under corona discharge”, J. Chem. Soc., Vol.122 (1975)
- 5) T.J.Sonmonstine et al, “Transient injection current in insulator with pre-existing trapped space charge” Phys. Rev. B, Vol.12 (1975)
- 6) M.Ieda, “Dielectric breakdown process of Polymers” IEEE. Trans. Electric. Ins., Vol.EI-15, No.3, 206 (1980)
- 7) 이덕출 외, “불소계 고분자재료의 코로나대전전류 특성에 관한 연구”, 전기전자재료학회, Vol.4, No.1, p.45 (1991)