

# 가교폴리에틸렌의 성분과 공간전하

노진서·한재홍·서광석  
고려대학교 재료공학과

## Constituents and space charge behavior in XLPE

Jin S. Noh, Jae H. Han, and Kwang S. Suh  
Department of Materials Science, Korea University, Seoul, Korea

### 1. 서론

지금까지 알려져 있는 바로는 전하축적 현상에 있어서 XLPE를 비롯한 폴리에틸렌의 경우 전극으로부터 주입되는 전하는 주로 전자이며 [1] 따라서 주입된 전하가 폴리에틸렌 내에서 트랩된다면 전자, 즉 음전하의 축적이 우세하게 일어날 것으로 기대된다. 그러나 실제로 전하분포를 측정할 결과 동종전하의 축적보다는 이종전하의 축적, 즉 음전극쪽에서 양전하의 축적이 발견된다 [2,3]. 이러한 결과는 XLPE에 축적되는 전하의 종류 및 양을 결정하는 것은 전극으로부터 주입되는 전하 (전자) 이외의 다른 요인이 XLPE에 축적되는 전하의 종류 및 양을 결정한다는 것을 의미한다.

이와 같은 차이점은 XLPE를 이루는 구성성분에 깊이 관련되어 있는 것으로 생각된다. XLPE는 가교부분, 미가교부분, 첨가제 및 가교부산물 등의 4부분으로 이루어져 있다고 할 수 있다. 가교부분은 화학가교제인 dicumyl peroxide에 의하여 폴리에틸렌 사슬이 3차원적인 망상구조를 이루고 있는 상태를 말하고 미가교부분은 주로 가교반응에 참여하지 않은 LDPE 성분이라고 할 수 있으며, 대표적인 첨가제로는 산화방지제가 있다. 또한 가교화과정 중 과산화물의 열분해에 의해 생성되는 가교부산물이 있다. 이들 성분은 XLPE의 전체적인 전기적 성질에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 [4].

이들 구성성분이 XLPE의 전체적인 전하축적 현상에 영향을 미칠 것으로 생각되므로, 본 연구에서는 각 성분이 XLPE의 전하축적 현상에 미치는 영향을 조사하였다.

### 2. 실험

XLPE를 구성하는 각 성분을 따로 분리해 내기 위해 다음과 같은 처리를 하였다. 우선 80 °C의 진공오븐 속에서 100시간 동안 진공처리시킴으로써 가교부산물들을 제거하였다 [5]. 진공 처리를 거친 XLPE를 먼저 클로로포름으로 추출한 후 이를 다시 자일렌을 사용하여 추출하였다. 클로로포름 추출은 산화방지제 등의 첨가제를 제거하기 위한인데 상온에서 48 시간 동안 처리하였다. 클로로포름 추출된 시편은 아직도 미가교성분을 가지고 있으므로 이를 제거하여 순수하게 가교된 성분만을 얻기 위해 끓는 자일렌 속에서 48 시간 동안 다시 추출하였다. 이때 가교도는 86%로 측정되었다. 용매추출 후에는 60 °C의 진공오븐 속에서 24 시간 방치하여 잔류용매를 제거하였다. 본 연구에서 사용한 시편을 표 1에 정리하였다.

Table 1. Specification of test specimens

Specimen	XLPE	Semiconductive electrode
XFSF	fresh	fresh
XFSV	fresh	vac. deg. <sup>1</sup>
XVSV	vac. deg.	vac. deg.
XLCh	extracted <sup>2</sup>	vac. deg.
XLXy	extracted <sup>3</sup>	vac. deg.

<sup>1</sup>. Vacuum degassed at 80 °C for 100 hrs.

<sup>2</sup>. Extracted in a chloroform for 48 hrs at RT.

<sup>3</sup>. Extracted in a boiling xylene for 48 hrs.

전하분포 측정을 위한 시편은 약 700  $\mu\text{m}$  두께의 판상으로 제조하였다. 본 연구에서는 고전압 발생장치로부터 6 kV에서 21.6 kV의 범위에서 직류전압을 단계적으로 증가시키며 인가하였는데 그 주기는 30 분으로 하였다. 또한 펄스 발생장치에서 30 ns의 폭과 -1 kV의 크기를 가진 펄스를 발생시켜 시료 내에 압력

파를 발생시켰다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 XLPE와 전극의 진공처리

그림 1에 제조 직후의 반도체 전극을 사용한 제조 직후의 XLPE (이하 XFSF)의 전하분포가 나와 있다. 양쪽 전극에 인접하여 나타나는 전하의 극성이 인접 전극의 극성과 반대인 것으로 관찰되었으며, 이로부터 XFSF의 경우 이중전하의 형성이 주된 전하형성기구임을 알 수 있다.

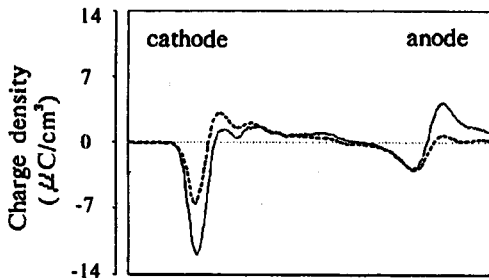


Fig.1. Charge distribution of XFSF: (—) during 21.6 kV application, (---) after the voltage removal.

그림 2에 반도체 전극과 XLPE의 진공처리에 따른 전하학적 현상이 나와 있다. 반도체 전극만을 진공처리하면 (이하 XFSV) 이중전하량이 XFSF의 경우보다 감소하며 시료 내부에는 양전하가 비교적 균일하게 분포한다는 것을 알 수 있다. XLPE와 반도체 전극을 모두 진공처리하면 (이하 XVSV) 시료에 축적되는 전하량은 더욱 감소하며 음전극에 인접한 지역에 축적된 전하의 극성이 전극의 극성과 같은 것으로 미루어 이 경우에는 동종전하의 축적이 주요 전하형성기구임을 알 수 있다.

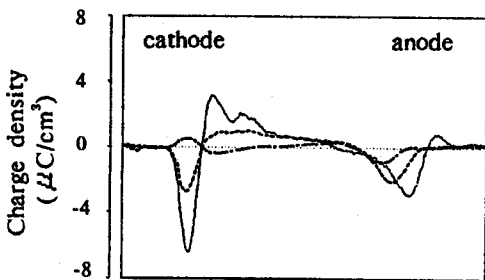


Fig.2. Charge profiles after the voltage removal: (—) XFSF, (---) XFSV, (-.-) XVSV.

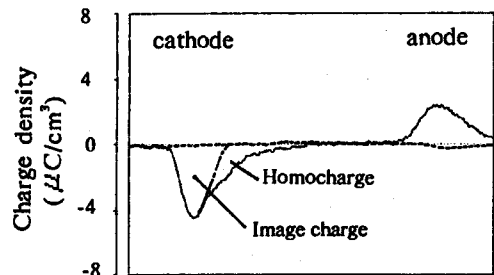
80 °C에서 진공처리하면 상당량의 가교부산물이 제거되

는 것으로 알려져 있다 [5]. 본 실험을 통하여 가교부산물이 존재하는 XLPE는 이중전하의 축적이 우세하며 가교부산물을 제거시킨 경우에는 동종전하의 축적이 우세한 것으로 밝혀졌다. 이는 가교반응 중에 생성된 저분자량의 가교부산물들이 고전압 인가시 하전되어 반대 극성의 전극쪽으로 이동함으로써 나타나는 현상으로 생각된다. 이때 반도체 전극에 있는 가교부산물들도 XLPE의 전하축적에 영향을 미치는 것으로 나타났는데 이는 가교부산물들의 확산을 통한 XLPE 내로의 유입에 기인하는 것 같다.

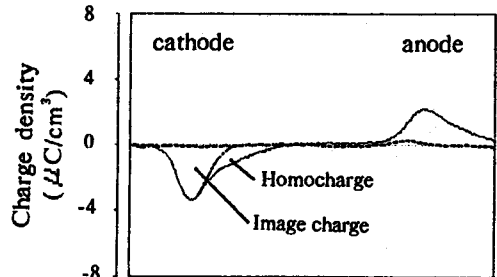
#### 3.2 용매추출한 XLPE

본 연구에서는 진공처리된 XLPE를 대상으로 클로로포름과 자일렌을 사용하여 용매추출한 후 전하분포를 측정하였다. 클로로포름을 사용하여 용매추출한 이유는 첨가제 등의 저분자량 물질을 제거하기 위함이며 끓는 자일렌을 사용한 이유는 미가교 성분을 제거하여 순수한 가교 성분만을 얻기 위함이다.

그림 3에 진공처리한 반도체 전극을 사용한 클로로포름 추출한 XLPE (이하 XLCh)와 자일렌 추출한 XLPE (이하 XLXy)의 전하분포가 나와 있다. 두 경우 모두 전압을 가하고 있는 동안은 음전극으로부터 시료의 내부로 음전하의 주입이 깊숙히 나타나지만 전압을 제거하면 거의 모든 전하가 소멸되어 시료 내에 축적되는 전하는 거의 없는 것으로 밝혀졌다.



(a) XLCh



(b) XLXy

Fig.3. Charge distribution of XLCh and XLXy: (—) during 21.6 kV application, (---) after the voltage removal.

XLPE를 용매추출할 경우 가장 큰 변화는 전하의 축적이 거의 없다는 것이다. XLCh와 XLXy의 전하축적 특성의 차이를 관찰하기 위하여 전압을 제거한 후의 전하분포를 그림 4에 비교하였다. (a)는 XLCh의 경우이고 (b)는 XLXy의 경우이다. 그림 4-a로부터 음전극쪽에서 낮은 전압에서는 이중전하의 축적이 보이다가 전압이 높아짐에 따라 동종전하가 축적되며 그림 4-b로부터 낮은 전압에서부터 동종전하의 축적이 일어남을 알 수 있다.

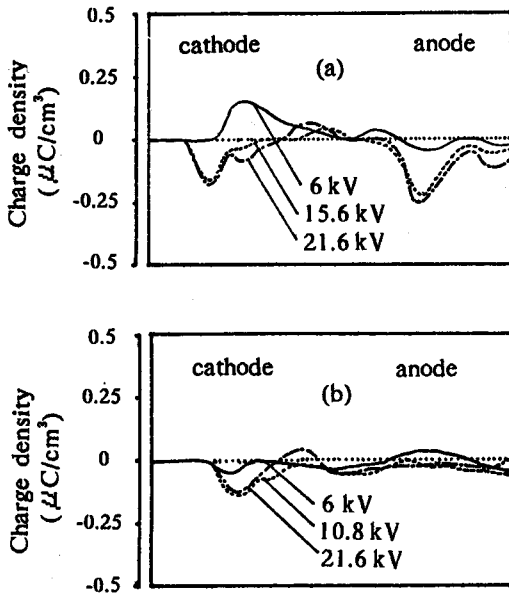


Fig.4. Charge profiles after the voltage removal: (a) XLCh, (b) XLXy

XLCh와 XLXy의 차이는 미가고 성분의 존재 유무라 할 수 있으므로 두 시편의 전하분포상의 차이는 미가고 성분인 LDPE 성분에 기인하는 것으로 간주할 수 있다. 따라서 XLPE 내의 미가고 성분은 낮은 전압에서는 이중전하의 형성을 돕는 기능을 하나 높은 전압에서는 결국 동종전하를 형성하는 역할을 하는 것으로 관찰되었다.

그림 5에 XFSF, XVSV 및 XLXy의 전하분포를 함께 비교하였다. 그림은 21.6 kV의 전압을 제거한 후의 전하분포들인데 XLPE와 반도체 전극을 모두 진공처리함에 따라 축적되는 이중전하량은 현저히 감소하며 용매추출하는 경우 축적되는 전하량은 더욱 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 XLPE와 반도체 전극의 가교 반응중 생성된 여러 가교부산물들이 XLPE의 이중전하 형성에 결정적인 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

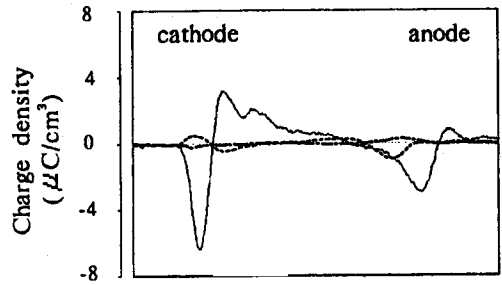


Fig.5. Charge profiles after the voltage removal: (—) XFSF, (.....) XVSV, (---) XLXy.

첨가제의 영향을 알아보기 위해 XLCh와 XVSV를 비교해 보면 XVSV에서는 동종전하가 우세하게 나타나는 반면 XLCh에서는 낮은 전압에서 이중전하가 발견되었다. 두 시편의 차이는 산화방지제의 유무이므로 산화방지제는 동종전하를 축적시킴으로써 이중전하의 형성을 억제하는 것으로 보인다.

#### 4. 요약

제조 직후의 XLPE에는 이중전하가 형성되는데 가교부산물들이 이중전하의 주된 원인인 것으로 밝혀졌으며 반도체 전극에 들어 있는 가교부산물도 적지 않은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 산화방지제 등의 첨가제는 이중전하의 형성을 억제하고 동종전하의 축적을 돕는 것으로 추측되나 추가적인 연구가 요구된다. 또한 순수하게 가교된 부분에는 동종전하가 형성되며 미가고 성분은 낮은 전압에서 이중전하의 형성을 유발하다가 높은 전압에서 동종전하를 형성하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 XLPE 내에 형성되는 전하의 종류 및 양을 조절하기 위해서는 이들 저분자량 물질들의 영향을 심각하게 고려해야 할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. M. Ieda, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-19 (3), 162-178, 1984.
2. Kwang S. Suh, et al, *ICSD'92*, 418-422, 1992.
3. H. Miyata, et al, *Conf. Record IEEE Int. Sym. Electr. Insul.*, 177-180, 1992.
4. M. Nawata, et al, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-25, 527-534, 1990.
5. Y. Li, et al, *Proc. 3rd ICPADM*, 1210-1213, 1991.