

# PE Laminate의 공간전하 형성

노홍석\*, 김재영, 한재홍, 서광석  
고려대학교 재료공학과

## SPACE CHARGE IN PE LAMINATE

Hong S. Roh\*, Jae Y. Lee, Jae H. Han and Kwang S. Suh

Department of Materials Science  
Korea University, Seoul, Korea

### Abstract

The accumulation of space charge in PE/PE/PE laminates was investigated using the low density polyethylenes having different melt indices from 0.25 to 45 g/10 min. Both heterocharge and homocharge accumulated in parent polyethylenes depend on the value of melt index. A general rule found in this study was that the heterocharge decreases as the melt index increases and finally the homocharge accumulates when the melt index is very high. Because of this reason, PE laminates showed different charge formation characteristics depending on melt index of polyethylene. Details of up to date results are described in the text.

### 1. 서론

고분자 절연체가 절연목적으로 사용될 때 이종 재료간의 계면을 이루는 경우가 많은데, 전력케이블의 반도체층과 절연층 사이의 계면 또는 접속재의 계면 등이 대표적인 이종재료간의 계면이라고 할 수 있다. 또한 고분자 플렌드 또는 고분자 복합재료가 전기절연에 많이 사용되는데, 이러한 시스템에서도 결국 이종재료간의 계면이 존재하고 이들 계면의 성질이 전체 전기절연 시스템의 절연특성을 좌우한다고 할 수 있다. 이와 같이 이종계면간의 계면은 전체 시스템의 절연특성에 큰 영향을 미침에도 불구하고 계면현상에 대한 연구는 아직 미진한 상태이다.

최근 일부분의 연구자에 의하여 이러한 계면현상에 대한 연구가 이루어지고 있다. 예를 들어 Li [1] 등은 두층 또는 세층의 PE laminate에 대한 계면현상에 대한 실험결과 계면에는 상당히 많은 양의 전하가 축적됨을 보고한 바 있고 본 연구팀에서도 그 동안 PE, EVA 또는 Ionomer 등의 고분자 laminate에서의 계면현상에 대한 실험결과를 발표한 바 있다[2,3]. 이러한 결과들을 검토하면 각 연구자에 의하여 발표된 실험결과가 서로 상이하다는 사실을 알 수 있다. 예를 들어 PE laminate에 있어서 Li 등은 각 계면에 이종전하가 축적된다고 발표한 반면 본 연구팀에서는 negative charge만 축적되는 현상을 발표한 바 있다. 이러한 상이한 연구결과에 대한 원인을 밝히는 것은 계면현상을 연구하는데 있어서 매우 의미있는 일이라고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 특성이 다른 수종의 PE로 이루어진 laminate를 사용한 계면현상에 대한 연구를 수행하여 최종적으로는 위에서 언급한 상이한 결과를 얻게된 원인을 밝히고자 한다. 아울러 계면에서의 접촉상태 또는 방전시간에 따른 영향도 평가하였다.

### 2. 실험방법

#### 2-1. 시편준비

본 연구에 사용된 시료는 서로 다른 용융지수를 갖는 LDPE로서 용융지수는 0.25, 2, 6, 24, 45 g/10 min의 다섯가지 종류이다.

전하분포 실험용 시편의 제작은 단층 시료의 경우는 약 1 mm의 두께가 되도록 hot press를 사용하여 120 °C에서 압축 성형하였다. 한편 laminate의 경우에는 각 층을 300-400 μm의 두께를 갖도록 하여 3층으로 약간의 열과 압력을 가하여 제조하였다.

전극으로 사용한 반도체성 재료는 180 °C에서 약 150-200 μm두께로 성형하였다.

#### 2-2. 전하분포 측정

전하분포 측정은 PEA (Pulsed Electroacoustic) 방법을 이용하였고 이에 대한 자세한 설명은 다른 연구결과에 잘 나와 있다[4]. 시편에 가해준 전압은 10 kV부터 40 kV까지 5 kV 간격으로 30분 동안 지류 전압을 가하였다. 모든 측정은 전압을 30분 동안 가한 후 단락시킨 다음 시료에 축적되어 있는 전하, 즉 잔류전하를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. PE 단층시편

고분자의 재료특성중의 하나인 MI가 다른 LDPE를 사용하여 단층에서의 공간전하 분포를 측정하였다.

그림 1은 각 단층시편에 40 kV를 인가한 후의 전하분포를 나타낸 것이다. MI가 낮은 0.25, 2, 6인 경우 음극 측에 이종전하가 축적되었고 MI가 높은 24, 45의 경우는 동종전하가 축적되었다. 전하분포 양상의 면에서 살펴 보면 이종전하가 축적되는 경우에는 MI가 증가할수록 이종전하가 음전극 쪽으로 이동되는 현상이

나타나며 동중전하 축적의 경우에는 모두 음전극쪽에 가깝게 나타난다. 이러한 현상은 MI에 따른 저분자량 성분의 이동도의 차이로 설명될 수 있다. 즉, MI가 클수록 저분자량 성분의 이동이 쉽기 때문에 음전극쪽에 근접한 피크가 나타나는 것으로 생각된다.

그림 2는 각 시료의 전하량을 계산한 것으로 매우 흥미로운 결과를 보여주고 있다. 일반적으로 전하의 형성이 이종전하 형성기구와 동중전하 형성기구의 상호작용에 의한 것으로 생각할 때 MI가 낮은 시료의 경우에는 이종전하 형성기구가 중요한 전하 형성기구이고, MI가 높은 경우에는 저분자량 성분의 이동도가 증가되어 전극과 시료 계면에 급작스런 극부전기장을 증가시켜 전자주입이 용이하게 되므로 동중전하가 축적되는 것으로 생각되고 있다. 즉, MI가 증가할수록 전자주입이 활발해져 이종전하량이 감소하게 되고 결국 MI가 매우 높은 경우 동중전하가 축적되는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 사실들로부터 MI가 약 10-15인 LDPE는 이종전하에서 동중전하로의 반전을 보여 줄 수 있을 것으로 기대된다.

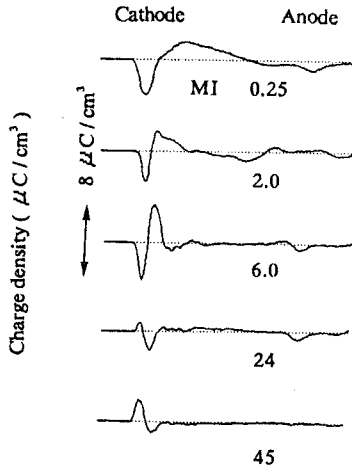


Figure 1. Charge distributions at 40 kV of LDPE having different MI.

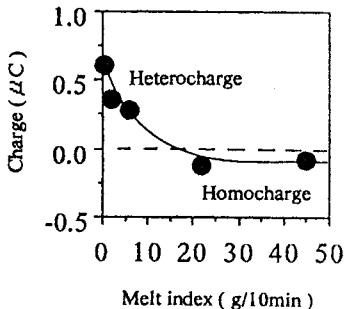


Figure 2. MI dependence of charge near the cathode.

### 3-2. PE Laminate시편

#### A. MI 영향에 따른 전하분포

그림 3은 MI가 서로 다른 LDPE를 가지고 laminate를 만들어 공간전하 분포를 측정된 결과이다.

MI 0.25, 2, 6에서 각 층의 이종전하 분포는 단층시료의 경우와 같이 MI가 증가함에 따라 음극쪽에 근접하여 MI=6인 경우 각 층에서의 전하분포 양상은 마치 단층시료를 축소한 것과 같이 뚜렷한 이종전하 형태를 나타내고 있다. 중간 계면에 나타나는 negative charge는 인접한 층내의 positive charge에 의해 유도된 것으로 생각된다. 다시 말하면 저분자량 성분에 의한 이종전하의 축적이 주된 요인이며 이에따라 계면은 마치 전극과 같이 행동하는 것으로 생각된다.

MI 24, 45의 경우도 각 층내의 전하분포는 단층시료와 유사하게 동중전하를 나타낸다. 단층시료에서 설명한 바와 같이 이경우의 주된 원인은 극부전기장의 증가에 따른 전자의 주입 때문인 것으로 생각된다.

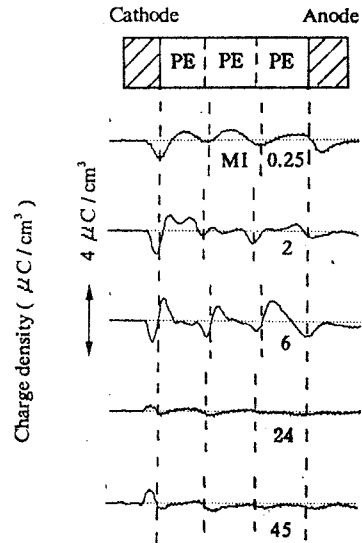


Figure 3. Charge distributions at 40 kV of LDPE laminate having different MI.

#### B. Contact condition에 따른 전하 분포

그림 4는 MI=2인 LDPE를 가지고 laminate를 만들 때 계면 처리를 달리하여 전하분포 측정된 결과이다. 단순 접촉된 경우가 열과 압력을 가한 경우보다 계면에서 큰 양의 음전하를 보이고 있는데 이것은 계면상태의 차이로 설명이 가능하다. 즉, 단순 접촉인 경우 계면이 확실하게 존재하게 되고 전하(전자)는 이 계면에 축적된다고 볼 수 있다. 반면에 열과 압력을 가하여 만든 laminate의 경우 고분자 사슬의 interdiffusion이 어느정도 가능하므로 계면전하가 이동할 수 있는 bridge가 형성됐다고 볼 수 있다. 따라서 전하는 계면을 가로질러 이동할 수 있을 것으로 기대되며 또한 계면에서의 잔류전하량이 감소하게 된다.

이러한 사실들로부터 laminate에 축적되는 전하는 계면상태에 따라 크게 다르다는 것을 알 수 있다.

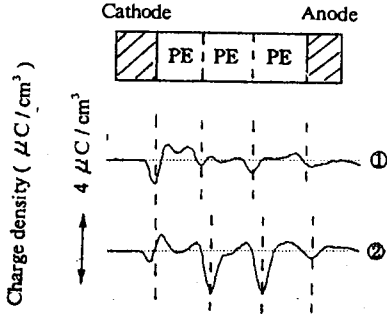


Figure 4. Charge distributions of LDPE laminate.

- ① Heat and pressure treatment
- ② Simple contact

### C. Layer 교환 효과

그림 5는 40 kV에서 전하가 축적된 단순접촉 laminate에서 중간층을 교환할 경우의 전하분포 변화를 측정할 결과이다. 새 것으로 교환했을 때 계면의 음전하는 사라지며 다시 원래것으로 교환한 경우에도 계면에서 음전하는 관찰되지 않는다. 이 두 사실로부터 계면 전하는 시편내부에 존재하는 실제전하가 아니라 계면 때문에 유도된 유도전하인 것으로 생각된다. 그러나 음전극쪽에 형성된 이종전하는 저분자량 성분등에 의해 형성된 것으로서 중간층의 교환에 의해 거의 영향받지 않는 것으로 생각된다. ④는 ③의 시료에 다시 전압을 인가한 것으로 계면에 음전하 퍼크가 다시 형성된다.

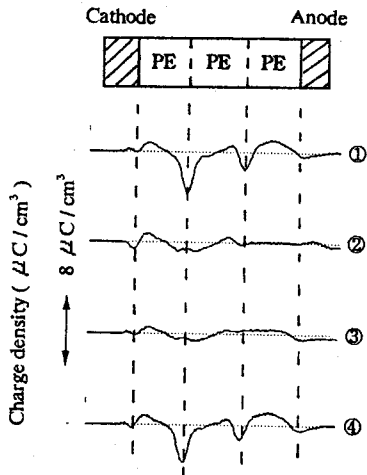


Figure 5. Effect of layer exchange on interface charge distributions.

- ① 40kV 인가 직후
- ② 중간층을 새것으로 교환
- ③ 중간층을 다시 원래것으로 교환
- ④ ③에 다시 40kV를 인가한 경우

### D. 방전시간에 따른 전하 분포

그림 6은 MI=2인 LDPE를 단순접촉한 시료에 40 kV를 30분간 가한 뒤 방전시간에 따른 전하분포 추이를 도시한 것이다. 방전시간이 증가함에 따라 계면과 층내에 축적되었던 전하의 양이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이때 각 계면에서의 음전하 감소 추이는 인접 층내의 양전하 감소 추이와 비례하는 것이 관찰되며 이 사실은 계면에 발생하는 음전하가 인접층내의 양전하로 인해 유도된다는 앞에서의 설명을 뒷받침 해 준다.

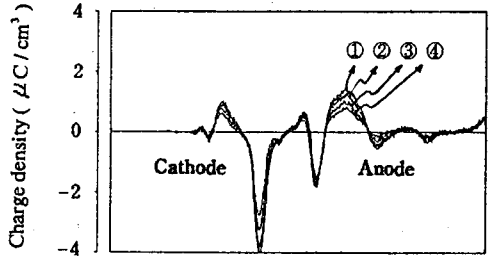


Figure 6. Time dependence of discharge.

- ① 40kV 인가 직후
- ② 5분 경과후
- ③ 30분 경과후
- ④ 90분 경과후

### 3-3. 고찰

본 연구를 통하여 LDPE laminate의 경우 전압 인가시 대부분의 전하는 계면에 축적되며, 계면치리 조건에 따라 계면에 축적되는 전하의 종류 및 양이 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 MI 등과 같은 재료 특성이 단층시편은 물론 laminate에서도 전하축적 특성에 큰 영향을 미치는 것으로 판명되었다.

최근 많은 연구자들이 LDPE의 공간전하 축적 특성에 대해 발표하였으나 그 결과에 큰 차이가 있었던 것이 사실이다. 본 연구는 이에 대한 해답을 제공해 주고 있다고 생각한다. 단층 LDPE와 laminate의 전하분포가 MI에 따라 다르다는 사실은 재료의 특성이 전하축적 mechanism에 큰 영향을 미침을 설명해 준다. 즉 기존 연구결과의 상이함은 재료특성의 차이에서 기인되는 것으로 추측되며 따라서 재료특성과 전하축적 특성간의 연관관계에 대한 연구가 필요하다.

### 4. 참고문헌

- [1] Y. Li and T. Takada, J. Appl. Phys., Vol 74, 2725, 1993.
- [2] K. S. Suh, et al., ISEI, 1993.
- [3] K. S. Suh, et al., 8th ISH, Yokohama, Japan, 111, 1993.
- [4] T. Maeno, et al., IEEE Trans. EI, EI-22, 433, 1988.