

# 폴리에틸렌/고분자 Laminate의 공간전하 거동

이 재준, 박 중현, 한 재홍, 서 광석  
고려대학교 재료공학과

## Space charge behavior in PE/Polymer laminate

Jae J. Lee, Jong H. Park, Jae H. Han, and Kwang S. Suh  
Department of Materials Science, Korea University, Seoul, Korea

### 1. 서론

실제 고분자 절연체를 사용하는데 있어서 절연체는 여러 계면을 접하게 되며, 이러한 계면들은 공간전하가 축적될 수 있는 장소를 제공할 수 있다 [1,2]. 이때 계면은 전기적 성질을 결정하는데 있어서 중요한 역할을 할 것이다. 특히 고분자 블렌드에는 모체수지와 성분이 다른 고분자가 상존하여 많은 계면이 생기게 되므로 이들 계면이 블렌드의 전기적 성질을 결정하는데 있어서 어떤 역할을 하는 지에 대한 연구가 필요할 것이다.

그러나 블렌드내에서 이러한 계면은 미세하고 무질서하게 분포되어 있으므로 실제 블렌드에서 전하축적에 대한 계면의 효과를 직접적으로 관찰하는 것은 매우 힘들다. 반면에 고분자/고분자 laminate는 실제 블렌드의 계면을 laminate의 계면으로 단순화시킬 수 있으며 laminate상의 계면을 여러 상태로 조절하여 계면의 성질을 변화시킬 수 있다는 장점이 있다.

따라서 계면을 단순화시킨 고분자/고분자 laminate를 사용하여 고분자 블렌드의 전하축적현상에 미치는 계면의 영향에 대하여 알아보았다.

### 2. 실험

본 실험에 사용된 시료는 저밀도폴리에틸렌 (이후 PE)과 Ethylene-Vinyl Acetate copolymer (이후 EVA) 그리고 Du Pont사에서 제조한 Ionomer를, 전극으로는 전력케이블의 내부 반도전층으로 사용되는 반도전컴파운드를 사용했다.

시편과 전극의 제작은 hot press를 이용해 시편의 경우 두께가 300 - 400  $\mu\text{m}$ , 전극의 경우 140 - 170  $\mu\text{m}$ 의 두께로 압축 성형 하였다. 측정할 laminate 시편은 sheet 형태의 시편을 단 순히 세층으로 적층시킨 시편과 적층시킨 후에 press를 이용하여 약간의 압력을 가하여 만든 시편등 두 종류를 제작하였으며 이때 시편 전체의 두께가 1000 - 1100  $\mu\text{m}$ 가 되도록 하였다. 본 실험에 사용한 시편의 형태를 그림 1에 나타냈다.

측정은 30 분간 가해진 전압을 제거한 후에 시편에 펄스를 가해서 전하가 축적된 위치로부터 발생한 압력파를 압전소자인 PVDF를 통하여 전기신호로 변환시켜 측정했다. 이때 사용하

는 펄스의 전압은 -2 kV이고 펄스의 폭은 30 nsec이며, 시편에 가해진 전압은 10 kV에서 시작하여 매 30 분마다 5 kV씩 단계적으로 승압하여 40 kV까지 가하며 실험하였다.

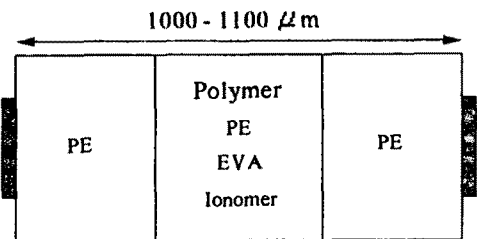


Fig. 1. The geometry of test specimen

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 모체수지의 전하분포

그림 2는 본 실험에 사용한 시료인 PE, EVA, Ionomer의 전하분포를 나타낸 것이다. 나타낸 전하분포는 가해진 전기장을 제거한 후에 측정된 것이다.

(a)에서 보면 PE에는 음극쪽에 음전하가, 양극쪽에 양전하가 축적된다. (b)를 보면 EVA내로 음극쪽에 음전하가 축적되며 시편내부는 고르게 양전하가 축적된 것이 관찰된다. (c)를 보면 Ionomer 내부에는 거의 전하가 축적되지 않는 것을 볼 수 있다.

PE는 간단한 hydrocarbon의 구조를 가진 비극성의 고분자이므로 LDPE의 전하축적에 있어서 전극으로부터 주입된 전하가 중요한 역할을 한다고 생각한다. EVA에 있어서도 전하축적기구는 전극에서 주입된 동중전하가 중요한 역할을 하는 것으로 보이며 특히 EVA로 정공의 주입이 용이한 것으로 보고된 바 [3] 본 실험 결과에서 EVA에 축적된 양전하는 양극에서 많은 양의 정공이 주입된 것에 기인한다고 생각된다. Ionomer의 경우 금속이온이 형성하는 Ionic cluster이나 carbonyl group이 hopping site로 작용하여 [4] 전하가 쉽게 시편을 이동하는 것으로 생각되며 따라서 전하축적이 관찰되지 않는 것으로 보인다.

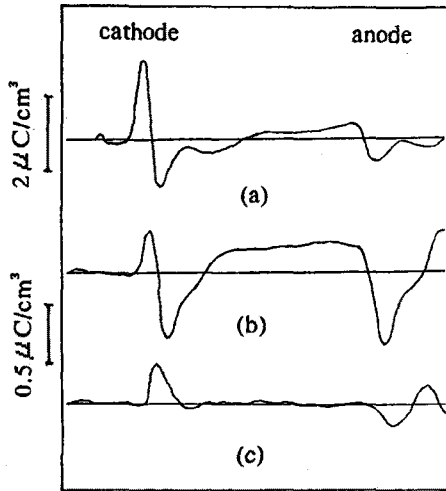


Fig. 2. Spatial charge profiles of parent polymers : (a) PE, (b) EVA, (c) Ionomer

3-2. PE/Polymer/PE laminate

그림 3에 PE/PE/PE, PE/EVA/PE 그리고 PE/Ionomer/PE 시편의 전하분포를 나타내었다. 나타난 전하분포는 전기장을 제거하고 측정된 것으로 시편은 세층을 단순히 적층시킨 시편이다.

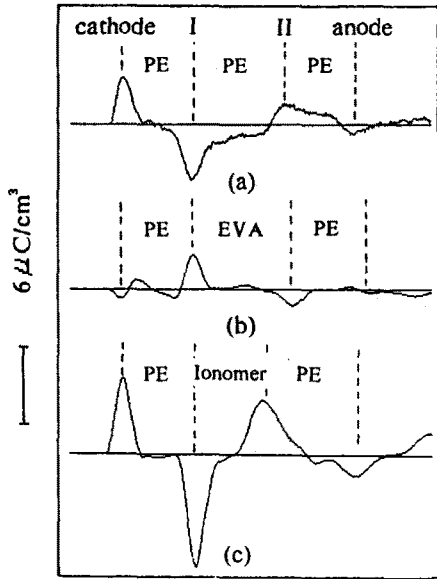


Fig. 3. Spatial charge profiles of PE/Polymer/PE laminates by a simple contact : (a) PE/PE/PE, (b) PE/EVA/PE, (c) PE/Ionomer/PE

PE/PE/PE (a)와 PE/Ionomer/PE (c) 시편에는 공간전하가 계면에 중점적으로 축적되는 것을 볼 수 있으며, 특히 음극쪽에 위치한 계면 (이후 계면 I)에서 음전하가, 양극쪽에 위치한 계면 (이후 계면 II)에는 양전하가 축적된다. PE/EVA/PE (b) 시편에는 계면 I에 양전하가, 계면 II에는 음전하가 축적되며 음극쪽의 PE에 약간의 전하가 축적되고 다른 부분에는 전하가 거의 없다.

PE/PE/PE와 PE/Ionomer/PE 시편의 경우에는 계면 I과 계면 II에 축적된 음전하와 양전하는 전극의 위치로 생각해 볼 때 동종전하의 성격을 갖는다고 볼 수 있고, 이것은 전극으로부터 주입된 전하가 계면에 트랩되어 형성된 것으로 생각된다. 그러나 PE/EVA/PE 시편의 경우에는 계면에 축적된 전하의 극성으로 보아 EVA에 형성된 전하가 전극쪽으로 이동하다가 계면에 트랩되어 형성된 것으로 생각된다.

3-3. 계면을 변화시킨 PE/PE/PE laminate

그림 4는 계면의 상태에 따른 PE/PE/PE 시편의 전하분포를 나타낸 것이다. 비교를 하기 위해서 (a)에 단순히 적층시킨 시편의 전하분포를 나타냈다.

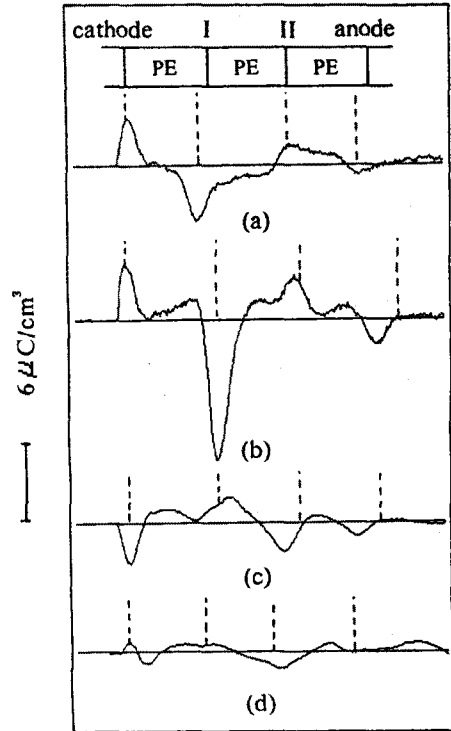


Fig. 4. Spatial charge profiles of PE/PE/PE laminates : (a) simple contact, (b) silicone oil, (c) heat and pressure, (d) heat treatment after pressing

silicone oil이 계면처리된 시편 (그림 4-b)의 전하분포에서 계면 I에 음전하가, 계면 II에는 양전하가 축적되어 단순히 적층시킨 시편의 경우 (그림 4-a)와 비슷한 전하분포의 형태를 보이나 계면에 축적된 전하의 양이 크게 증가하며 중간층의 PE에는 음전하 대신 양전하가 축적되는 것을 볼 수 있다. 열과 압력을 가하여 적층시킨 시편 (그림 4-c)를 보면 계면 I영역에는 양전하가, 계면 II에서 중간층의 PE 내부로 음전하가 축적되며 전극에 인접한 PE 층에는 전극과 경계부근에 이동전하가 축적된다. 압력을 가하여 적층시킨 후 진공오븐속에서 80 °C로 48 시간 등온처리한 시편 (그림 4-d)의 전하분포를 보면 전극에 인접한 PE

에서 전극/PE 계면에는 동종전하가 축적되며 내부와 계면에는 넓게 이종전하의 성격을 띤 전하가 분포된다. 특히 축적된 전하의 양이 상당히 감소하며 계면에서 큰 전하의 축적이 일어나지 않고 전체적인 전하축적의 모양이 압력을 가한 시편 (그림 4-c)의 전하분포와 유사한 형태를 갖는다.

실험에 사용한 시편은 동일한 시료로 제작된 시편으로 변수라고 할 수 있는 것은 제작시 시편을 처리한 조건이 다르다는 것이다. 단순히 적층되거나 계면에 silicone oil을 처리하여 적층시킨 경우 계면을 중심으로 양측의 PE내의 사슬 사이에는 확산에 의한 상호작용이 거의 없다고 할 수 있으므로 전하가 계면을 통해 bulk로 이동하지 못하고 계면에 축적되는 원인이 된다고 생각한다. 그리고 (a)와 (b)를 비교할 때 계면에 있는 silicone oil은 전하의 트랩을 더 증가시키는 것으로 보인다. 압력을 가해 적층시킨 시편이나 적층시킨 후 열처리한 시편의 경우 계면에서 확산을 통해 양측의 PE내의 사슬간에 상호작용이 존재하고, 이에 따라 전하들이 계면을 통과하여 bulk로 이동할 수 있는 것으로 생각된다.

### 3-4. 고찰

본 연구는 PE/Polymer/PE 시편의 전하축적과 PE/PE/PE 시편의 계면 상태의 변화에 따른 전하분포를 측정함으로써 전하 축적에 대한 계면의 역할을 살펴보고자.

단순히 적층시킨 PE/Polymer/PE 시편의 경우 중간층이 PE나 EVA, Ionomer로 바뀔 때 따라 축적되는 전하는 PE/PE/PE와 PE/Ionomer/PE 시편에서 크기는 다르지만 비슷한 형태를 나타내나 PE/EVA/PE 시편의 경우는 다른 형태를 갖는다. 이것은 시편 내에 형성된 전하의 근원이 다르기 때문인 것으로 보인다. 그리고 시편제조시 세 층을 단순히 적층시켰으므로 계면에서 각 층의 고분자 사슬간에 상호작용이 없고 계면은 사슬간에 일종의 불연속적인 면으로 존재한다고 할 수 있다. 따라서 전하가 계면을 통과하여 bulk로 이동하는 것은 힘들고 대부분 계면에 축적될 것으로 예상된다.

PE/PE/PE 시편을 다양한 조건으로 처리하면 계면에 축적되는 공간전하의 분포상태가 바뀌는 것으로 관찰되었는데, 이는 처리조건에 의하여 계면상태가 바뀌었기 때문으로 생각한다. 이를 설명하기 위하여 그림 5에 간단한 모델을 설정하였다. 그림 5-a와 5-b에서 계면에 있는 고분자 사슬들 사이의 상호확산이 없다고 생각할 수 있다. 이런 상황은 전하가 이동하는데 있어서 계면이 장애물로서 작용할 수 있고 전하는 계면을 통과할 수 없으므로 계면을 중심으로 축적될 것이다. 이때 단순한 계면보다는 계면에 silicone oil이 있는 경우 전하의 트랩을 잘 하는 것으로 보인다. 그러나 그림 5-c나 5-d와 같이 확산을 통하여 계면에서 고분자 사슬이 상호작용을 하게 된다면 계면영역이 확장되어 장애물로서의 계면의 역할은 약화될 것이고 계면에 축적될 전하가 계면을 통하여 이동하여 계면에 축적된 전하의 양은 감소할 것이다.

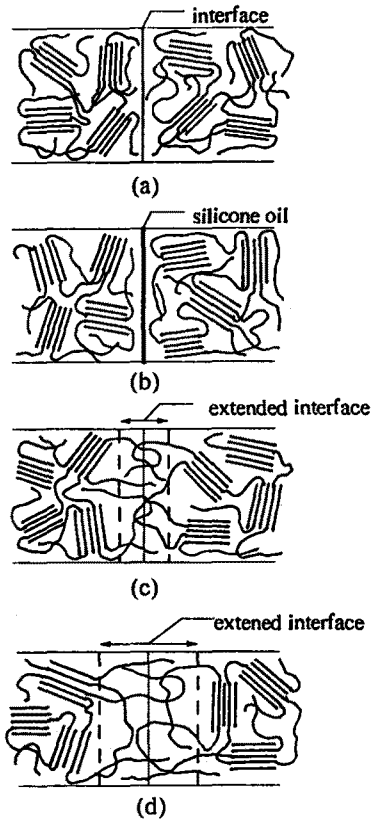


Fig. 5. The model of interface in PE/PE/PE laminates : (a) simple contact, (b) silicone oil, (c) heat and pressure, (d) heat treatment after pressing

### 4. 요약

본 실험을 통하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다. PE/Polymer/PE 시편에서 축적되는 공간전하는 계면을 중심으로 형성되며 중간층의 고분자가 바뀔 때 따라 계면에 축적되는 전하 분포도 변화한다. 그리고 PE/PE/PE 시편의 처리조건에 따라 계면에 축적되는 전하분포가 변하는데 이것은 시편의 처리조건에 따라 계면의 성질이 바뀌기 때문인 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1. Y. Suzuki, et al., *J. Phys. D:Appl. Phys.*, 17, 141, 1984
2. G. Cai, *IEFE Trans. Electr. Insul.*, EI-25, 702, 1990
3. T. Mizutani and Ieda, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-21, 833, 1986
4. K. S. Suh, et al., *CEIDP '92, Victoria BC, Canada*, 136, 1992