

## 폴리에틸렌 Laminate의 공간전하 형성

노 홍 석 · 서 광 석<sup>†</sup> · 강 창 균\*

고려대학교 재료공학과, \*제일모직  
(1995년 2월 3일 접수)

### Charge Formation in Polyethylene Laminates

Hong S. Noh, Kwang S. Suh<sup>†</sup>, and Chang K. Kang\*

Department of Materials Science, Korea University, Seoul, Korea

\*Cheil Industries Inc., Euiwang, Korea

(Received February 3, 1995)

**요 약 :** 폴리에틸렌 laminate을 이용하여 폴리에틸렌 계면에서의 전하형성 특성을 알아보았다. 본 연구를 통하여 laminate 계면은 전하이동을 방해하는 역할을 하여 계면에는 많은 양의 전하가 축적되며, 이 계면전하의 양과 극성은 저분자량 함량 등의 재료특성에 의해 큰 영향을 받는 것으로 밝혀졌다. 또한 계면을 적절히 처리함으로써 계면전하량이 바뀔 수 있음을 알았다. 용융지수가 다른 두 폴리에틸렌으로 이루어진 laminate에 있어 계면전하의 양과 극성은 전압크기에 따라 상이하게 나타났는데, laminate의 계면전하는 수십 kV/mm 정도의 전기장에서는 이중전하형성이 우세하나 더 높은 전압에서는 결국 전극으로부터 주입된 동종전하가 이중전하를 감소시키는 것으로 관찰되었다. 이러한 결과는 블렌드에도 적용됨을 알았다.

**Abstract :** The accumulation of space charge at the interface in polyethylene (PE) laminates has been investigated by measuring the charge distribution. It has been found that charge accumulates at the interfaces of PE laminates and the amount and polarity of the charge are affected by material parameters such as the amount of low molecular weight part. It has also been found that a proper treatment of the interfaces can change the amount of charge accumulated at the interfaces. Both amount and polarity of the charge accumulated in the laminates composed of polyethylenes having different melt indices are found to be dependent on the magnitude of applied voltage. This implies that the formation of charge at the interfaces was governed by heterocharge at electric fields of up to a few tens kV/mm and these heterocharge decreased at higher fields because of an enhanced charge injection.

**Keywords :** PE, PE laminates, PE blends, space charge, interface.

### 서 론

일반적으로 고분자 절연체를 이용한 전력케이블 내에는 구조상 상이한 재료간의 계면이 존재한다. 그중에서도 반도체층과 절연층 사이의 계면 또는 접속재와의 계면 등이 대표적인 이중재료간의 계면이라고 할 수 있다. 이와 같은 거시적 계면뿐 아니

라 고분자 블렌드 또는 고분자 복합재료 내에는 미시적 계면이 존재한다.

이러한 계면은 재료시스템 내에 불연속면을 형성하기 때문에 절연재료를 사용하는 전력기기의 특성을 지배하는 주요 요인이 된다. 예를 들어, 전력케이블에서 가장 중요한 문제로 취급되고 있는 트리특성은 전력케이블의 반도체층과 절연층 간의 계면에서

시작되는 것으로 알려져 있다. 고분자 블렌드의 경우 계면결합이 좋을수록 계면을 통한 재료특성의 전이가 수월해지며 상용성이 매우 좋은 경우 계면은 더 이상 불연속면을 형성하지 못하고 마치 하나의 재료인 것처럼 거동할 것이다. 따라서 계면을 형성하는 재료시스템에서 계면현상에 대한 연구는 매우 중요하다고 할 수 있다.

고분자 블렌드는 계면이 존재하기는 하나 너무 미시적이고 임의로 분포되어 있기 때문에 블렌드로부터 얻은 실험결과의 해석이 어려울 것이다. 최근 이러한 단점을 극복하고 계면을 포함하는 재료시스템의 전기적 특성을 평가하기 위하여 고분자 laminate를 이용하고 있다.<sup>1-3</sup> 예를 들어, Li<sup>+</sup> 등<sup>3</sup>은 두층 또는 세층의 PE laminate를 이용하여 계면에서의 전하형성특성을 연구한 결과 계면에는 많은 양의 이종전하가 형성되고 이 이종전하 때문에 계면에서의 전기장은 내부의 전기장보다 월등히 높아진다고 하였다. 이와 같은 현상은 PE/PE/PE laminate 뿐 아니라 PE/EVA/PE laminate에서도 관찰된 바 있다.<sup>4</sup> 지금까지 이루어진 연구결과를 보면 계면에 많은 양의 전하가 축적된다는 것은 사실이나 전하의 종류에 있어서 논란이 있는 것으로 보인다. 예를 들어, 계면을 중심으로 이종전하가 형성된다는 보고가 있는 반면에 계면 부근에 한 종류의 전하가 존재한다는 보고도 있다.<sup>5</sup> 이와 같이 같은 폴리에틸렌이면서도 서로 상이한 결과를 보이는 것은 계면을 이루는 고분자에 대한 연구 또는 계면현상에 대한 이해가 부족하기 때문이라고 할 수 있다.

최근 본 연구팀의 실험 결과 PE의 저분자량 성분이 LDPE의 전하형성에 있어 매우 중요한 역할을 하며 같은 LDPE라 할지라도 재료 특성에 따라 다른 전하형성기구를 갖는 것으로 관찰되었다.<sup>6,7</sup> 따라서 본 연구에서는 고분자 laminate를 이용한 계면현상 연구의 기초 실험으로써 상이한 전하형성기구를 갖는 몇 가지 저밀도 폴리에틸렌 (LDPE, low density polyethylene)을 사용하여 단층시편, PE/PE laminate, PE/PE/PE laminate를 만들어 공간전하분포를 측정하여 재료에 따른 계면과 공간전하 형성과의 관계를 관찰하였다.

## 실 험

**시 편.** 본 연구에 사용된 시료는 국내 화학회사의 LDPE로서 용융지수가 0.25, 1.8, 2, 6, 24, 45 g/10 min인 여섯 종류의 LDPE를 사용하였다. 이들은 모두 virgin grade로서 본 실험에서는 첨가물에 따른 영향을 배제할 수 있을 것으로 생각된다. 여섯 종류의 시편에 대해 전하형성현상을 관찰하였으며 이들 중에서 이종전하를 갖는 시료 1종 (LDPE A, 용융지수 : 6.0 g/10min)과 동종전하를 갖는 시료 1종 (LDPE B, 용융지수 : 24 g/10 min)을 선택하여 laminate에서의 계면현상 연구에 사용하였다. 위 시료들은 모두 0.915-0.920 g/cm<sup>3</sup>의 밀도를 갖는다.

전하분포 실험용 시편의 제작은 다음과 같다. 단층 시료의 경우는 약 1 mm의 두께가 되도록 120℃에서 압축 성형하였고 laminate 시편은, 두층(PE/PE) laminate의 경우에는 각 층을 500 μm 정도의 두께를 갖도록 하였으며 세층(PE/PE/PE) laminate의 경우에는 각 층을 300-400 μm 정도의 두께를 갖도록 하였다. Laminate를 만들 때에는 각 층을 포갠 후 80℃에서 5분간 7 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력을 가하여 제조하였다. 또한 laminate 시편은 층간의 접촉상태에 따라 공간전하 분포가 크게 영향받을 것으로 생각되는데, 이러한 계면접촉상태의 영향을 평가하기 위하여 단순접촉한 laminate 시편과 계면을 실리콘오일로 처리한 laminate 시편을 이용하였다. 단순접촉이란 두 개 또는 세개의 PE층을 단순히 접촉시킨 경우를 의미하고, 실리콘오일처리하는 계면에 절연유로 사용되는 실리콘 오일을 한 두 방울 떨어뜨린 다음 이를 압착시켜 만든 laminate를 의미한다. 실리콘 오일을 사용한 이유는 laminate의 계면을 보다 확실하게 나타내고 또한 이 계면에서의 전하트랩을 보다 확실하게 하기 위함이었다. LDPE A와 LDPE B 블렌드는 120℃에서 10분간 roll milling하여 제조하였다.

전극은 전력케이블의 내부 반도체층으로 사용되고 있는 반도체성 재료를 필름으로 만들어 이를 시료의 표면에 압착시켜 사용하였다. 반도체성 전극을 사용

하는 이유는 압전소자를 이용한 측정에서 중요한 acoustic impedance를 맞추며<sup>8</sup> 전력케이블의 실제 구조와 흡사한 구조를 묘사하기 위한 두가지 목적때문이다. 반도체성 재료는 올레핀계 고분자에 전도성 카본블랙이 첨가된 컴파운드로서 150-200 μm 두께로 준비하였으며 180℃에서 20분간 가교시켰다. 이때 가교부산물인 시료내로 확산되어 전하형성에 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 80℃에서 100시간동안 진공처리하여 사용하였다.<sup>9</sup>

**저분자량 추출.** 본 실험에서 사용된 6가지 종류의 시편에 대하여 저분자량 성분의 양과 전하분포 사이의 관계를 관찰하기 위해 추출실험을 하였다. 항온조를 이용하여 자일렌을 67℃로 유지하면서 LDPE 펠렛을 48시간동안 추출하였다. 추출시킨 LDPE는 동일한 온도의 새 자일렌을 사용하여 씻어 내었으며 hood에서 자일렌을 24시간동안 날린 후 80℃의 진공오븐에 48시간동안 잔류용매를 제거하였다. 추출한 시료의 질량을 추출전 시료의 질량과 비교하여 저분자량의 성분의 양을 계산하였다.

**전하분포 및 전기장 분포.** 공간전하분포 측정은 전기음향펄스법 (PEA : Pulsed Electroacoustic)을 이용하였다.<sup>10</sup> 시편에 가해진 전압은 10 kV부터 40 kV까지 5 kV 간격으로 30분씩 직류 전압을 가하였다. 이렇게 단계적으로 전압을 가하는 동안 각 단계에 형성된 잔류전하를 펄스발생기를 이용하여 측정하였다. 펄스 폭이 30 nsec이고 크기가 -2 kV인 전기펄스를 가하여 시료내 공간전하에 의한 압력파를 발생시키고 이 압력파는 압전소자에서 전기적 신호로 전환되며 증폭기를 통해 100배 크기로 증폭되어 오실로스코프에서 전압단위로 측정하게 된다(Fig. 1). 가해진 펄스에 의해 시료내에 축적된 공간전하에서 발생된 압력파는 매질내를 전파하면서 상호간섭되어 감쇄되는데 이로 인해 양극쪽의 신호해석에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 간섭이 적은 음극쪽의 신호를 주로 이용하였다. 모든 시편에 대해 실험 초기에 5-8 kV를 가하면서 초기 상태를 측정한 후 음극쪽 피이크의 면적과 가해 준 전압으로부터 전하량을 계산하였으며 이를 이용하여 전압단위로 측정된

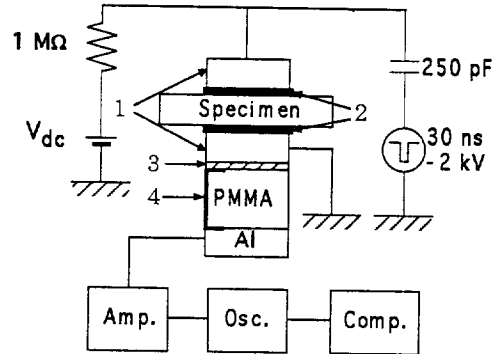


Fig. 1. Schematic diagram of PEA instrument for the measurement of spatial charge distribution; 1. Al electrode, 2. semiconductive electrode, 3. PVDF, 4. Al film.

전하 분포를 전하밀도로 보정하였다.

측정된 전하분포로부터 다음 관계식에 의하여 전기장 분포를 계산하였다.

$$E(x) = \frac{1}{\epsilon} \int \rho(x) dx$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

여기에서  $\rho$ 는 전하밀도를 의미하고  $\epsilon_0$ 는 진공중에서의 유전상수 ( $8.854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$ )이며  $\epsilon_r$ 는 시료의 유전상수로서 폴리에틸렌의 경우 2.2를 사용하였다.<sup>11</sup>

## 결과 및 고찰

**단층시편.** Fig. 2는 용융지수가 다른 여섯 종류의 LDPE에 10 kV부터 40 kV까지 5 kV 간격으로 30분씩 단계적인 전압을 가할 때 20 kV와 40 kV에서 전압을 제거한 직후 재료내에 형성된 잔류전하의 분포도이다. 용융지수가 0.25, 2, 6 g/10 min인 경우에는 음극쪽에 양전하가 축적되는 이종전하(heterocharge)를 보이며 용융지수가 1.8, 24, 45 g/10 min인 경우에는 음극쪽에 음전하가 형성되는 동종전하(homocharge)를 보인다. 전하분포를 보면 용융지수가 0.25 g/10 min인 경우를 제외한

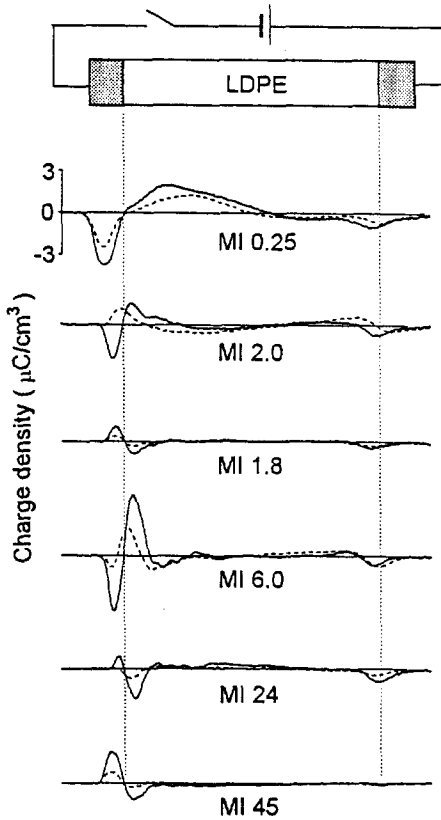


Fig. 2. Spatial charge profiles of LDPE having different melt indices after the discharge : 20 kV (dashed line) and 40 kV (solid line).

모든 시편에서 전하는 전극에 인접한 부분에 집중적으로 축적되며 시료 내부에는 전하가 거의 없는 것으로 보인다.

용융지수는 고분자 재료의 흐름성질을 나타내는 척도로서 저분자량 성분의 함량과 밀접한 관계가 있다. 하지만 두가지 특성을 완전히 동일시 할 수는 없으며 그 전형적인 예가 Fig. 2의 MI 2.0과 1.8인 두 시편 사이에서 발견된다. 두 시편의 용융지수는 거의 같지만 각각 이종전하와 동종전하를 형성한다. 그 원인을 규명하기 위해 각 시편에 대한 추출실험을 통해 저분자량 성분의 양을 계산하였으며 그 결과가 Table 1에 나와 있다. MI 2.0과 1.8인 시편은 각각 12.7%, 4.4%의 상이한 저분자량

Table 1. % Extractable of LDPE Samples at 67°C

Melt index (g/10 min) <sup>1</sup>	% Extractable at 67°C (%)
0.25	7.0
2.0	12.7
1.8	4.4
6.0	16.2
24	89.1
45	95.7

<sup>1</sup> : 190°C, 2.16 kg.

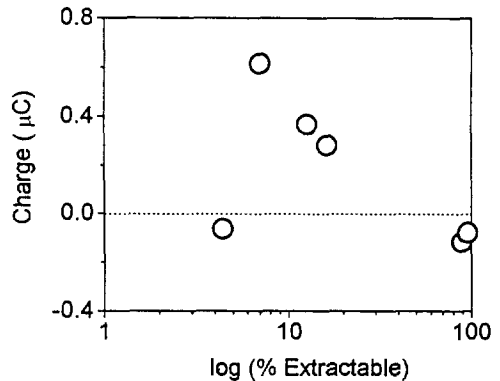


Fig. 3. % Extractable dependence of charge near the cathode in LDPE samples having different melt indices.

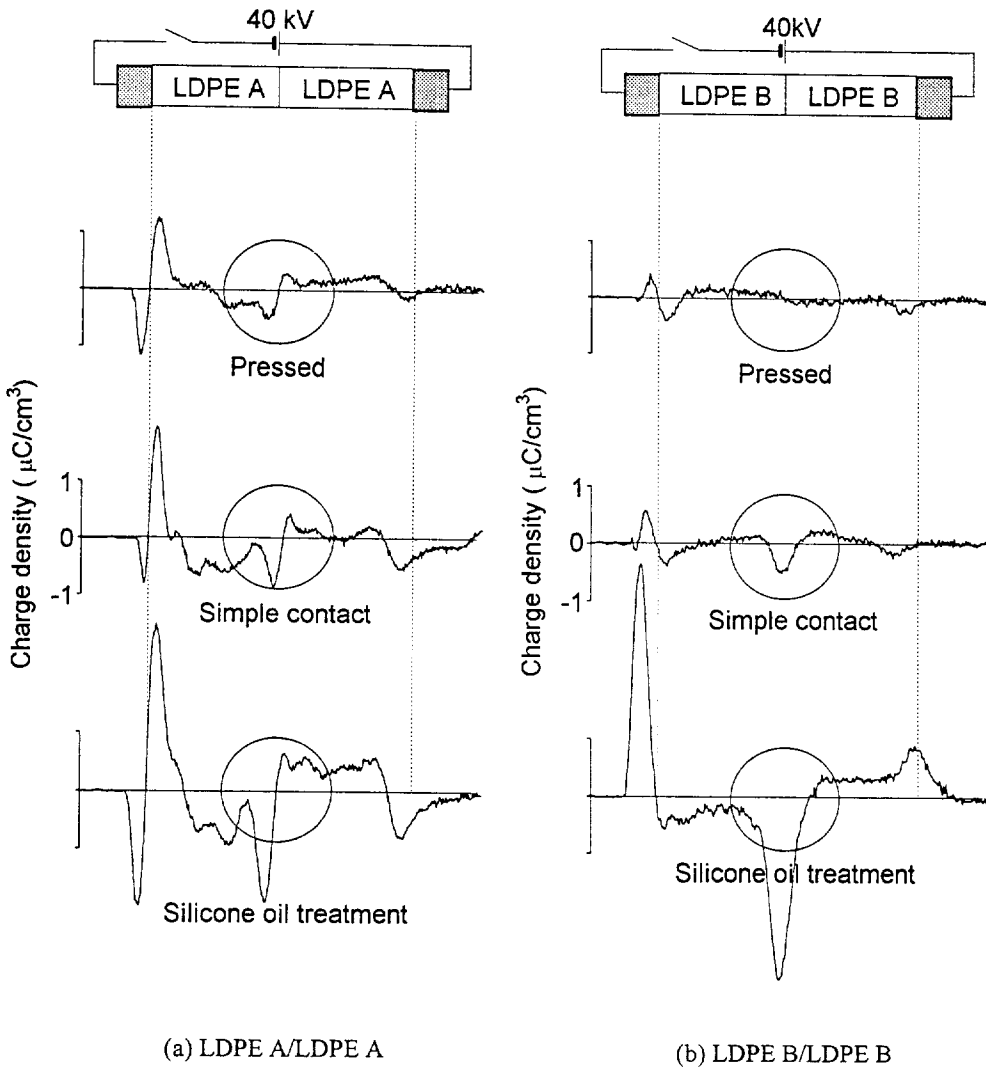
성분함량을 나타내었다. 따라서 용융지수로부터 전하형성기구를 설명하는 것보다 기존의 실험결과로부터 입증된 저분자량 성분의 양으로부터 이를 설명하는 것이 타당하다고 할 수 있다. Fig. 3에 저분자량 성분의 양에 따른 전하의 종류와 양을 도시하였다. 저분자량 성분의 증가에 따라 동종전하에서 이종전하로, 다시 동종전하로 전하형성기구가 전이되는 것을 알 수 있다.

이러한 실험결과는 고분자 사슬의 유동도 (chain mobility)로부터 설명될 수 있다. 즉, 저분자량 성분의 양이 매우 적어서 사슬의 이동이나 배향이 곤란한 경우 이종전하의 형성이 제약을 받아 동종전하가 형성되나 저분자량 성분의 양과 함께 사슬의 유동도가 증가함에 따라 전기장 방향으로 배향된 저분자량에 의해 이종전하를 나타내게 된다. 저밀도

화가 생기며 각 층의 전하분포는 단층시편의 전하분포와 동일하다는 것을 알 수 있다. LDPE A의 경우 재료내부의 계면은 전하이동의 장벽으로 작용하여 마치 전극과 시료사이의 계면에서와 같이 계면 양쪽에 이종전하를 형성하는 것을 알 수 있다. LDPE B도 대체로 비슷한 경향을 보이나 전하축적은 상대적으로 작는데 그 이유는 두 재료에 대해 모두 80°C, 7 kgf/cm<sup>2</sup>의 조건에서 laminate를 만들었지만 LDPE B

의 경우 저분자량 성분이 많기 때문에 계면에서의 분자운동이 활발하여 계면이 불분명해지기 때문인 것으로 생각된다. 이에 대하여는 다음 절 (laminate 접촉조건)에서 다시 언급하기로 한다.

**PE/PE/PE Laminate** : Fig. 5(b)는 LDPE A와 LDPE B로 PE/PE/PE laminate를 만든 시편에 대한 40 kV에서의 잔류 공간전하분포이다. PE/PE laminate에서와 마찬가지로 계면을 중심으로



**Fig. 6.** Spatial charge profiles of polyethylene laminates for different contact conditions.

각 층은 Fig. 2의 단층시편의 경우와 유사한 공간 전하 분포를 갖는 것을 알 수 있다. LDPE A는 계면에 많은 양의 전하가 축적되어 계면효과가 뚜렷한 반면 LDPE B는 계면에 축적된 전하가 적어서 계면이 뚜렷이 보이지 않는다.

**Laminate 접촉조건.** 계면상태와 전하축적의 관계를 알아 보기 위하여 접촉조건을 달리하여 실험을 수행하였다. Fig. 6(a)는 LDPE A를 가지고 PE/PE laminate의 세 가지 접촉상태에 대한 전하분포 결과이다. 계면전하의 양은 80°C에서 압착한 시편, 단순접촉한 시편, 실리콘 오일 처리한 시편 순으로 많이 축적됨을 알 수 있다. 즉, 층간 단절이 분명할수록 계면에 축적되는 전하량이 많아진다는 것을 알 수 있는데, 이는 전하가 튀어 넘기 어려운 장벽을 형성하기 때문인 것으로 생각된다. LDPE B에서도 마찬가지로의 결과를 얻었다 (Fig. 6(b)).

**LDPE A/LDPE B Laminates.** 상이한 전하형성기구를 갖는 LDPE A와 LDPE B를 80°C에서 7 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 제조한 laminate의 전하분포와 전기장분포 양상을 관찰하였다. LDPE A에서는 이종전하가 그리고 LDPE B에서는 동종전하가 관찰되었음은 이미 언급한 바 있다 (단층시편 참조).

Fig. 7에 두 폴리에틸렌을 이용한 laminate의 전하분포가 나와 있다. LDPE A(-)/LDPE B(+) laminate의 경우 낮은 전압 (20 kV까지)에서는 계면에 양전하가 형성되나 이보다 높은 전압에서는 계면에 축적된 양전하량이 감소한다. 반면, LDPE B(-)/LDPE A(+) laminate의 경우에는 낮은 전압 (20 kV까지)에서는 계면에 음전하가 형성되다가 이보다 높은 전압에서는 음전하량이 감소하여 40 kV에서는 양전하가 형성된다. 측정된 전하분포로부터 전기장 분포를 계산한 결과 (Fig. 8), 전압의 크기 및 극성에 관계없이 동종전하 주입을 보이는 LDPE B 쪽의 전기장이 이종전하 형성을 보이는 LDPE A 쪽의 전기장보다 높다는 것을 알 수 있다.

낮은 전압에서는 LDPE B 쪽에서 일어나는 동종전하 주입과 주입전하의 이동 및 계면에서의 트

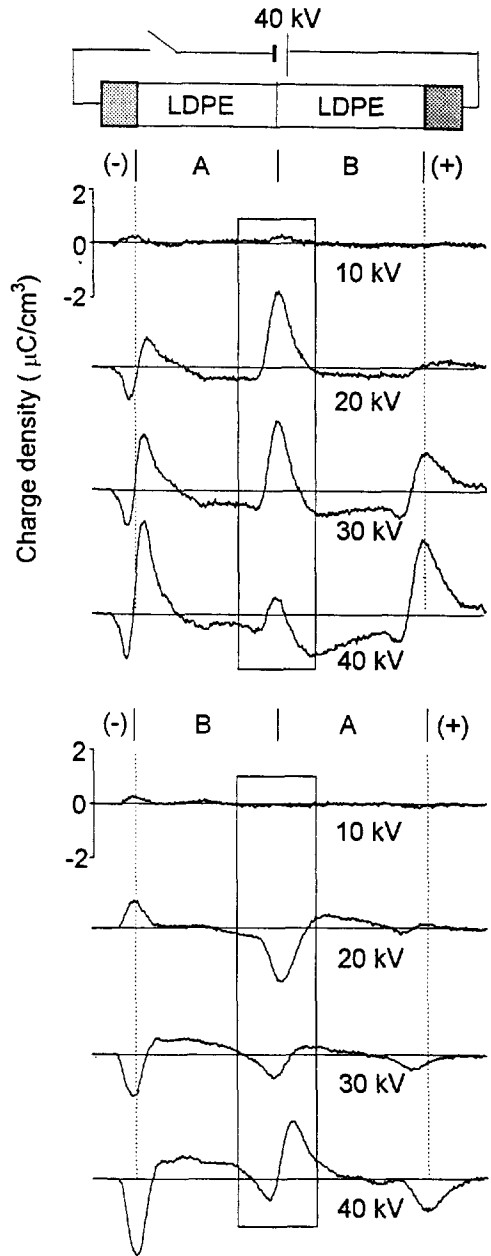


Fig. 7. Spatial charge profiles of LDPE A/LDPE B laminates.

랩이 우세한 전하형성기구인 것으로 생각된다. 그러나 전기장이 높아지면서 LDPE A 쪽에서 발생

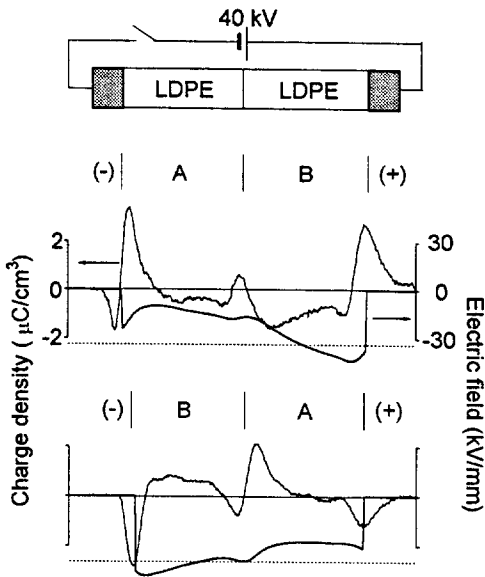


Fig. 8. Electric field profiles of LDPE A/LDPE B laminates (dot line : average field).

하는 이중전하 형성이 점차로 우세해져 동종전하 주입에 의하여 형성된 계면전하는 반대 극성을 갖는 이중전하에 의하여 상쇄되므로 낮은 전기장에서 형성된 계면전하량이 감소하거나, 심지어 반대 극성의 전하로 바뀌는 것으로 생각된다. 그러나 전압이 매우 높은 경우에는 전극으로부터의 전하주입이 다시 우세해져 결국 이중전하량을 다시 감소시키는 것으로 관찰되었다.

Fig. 9는 LDPE A와 LDPE B를 이용한 PE/PE/PE laminate에 대한 전하분포이고 Fig. 10은 전기장 분포이다. B/A/B의 경우는 LDPE B가 양쪽 전극에 인접하여 위치하는데, 10 kV 정도의 낮은 전압에서는 동종전하 주입에 의한 계면전하를 보이지만 이보다 높은 전압에서는 이중전하의 우세 때문에 계면전하의 극성이 반전된다. 이러한 현상은 두층 laminate에서 이미 언급된 바 있다 (Fig. 7). 반면에 A/B/A 시료에서는 LDPE B 층이 이중전하 형성이 우세한 LDPE A에 의하여 둘러 싸여 있기 때문에 초기 동종전하 형성기구에 의한 계면전하 분포는 관찰되지 않고 처음부터 이중전하 형성기구에 의해 계면전하가 형성되는 것이 관찰된다. 전하

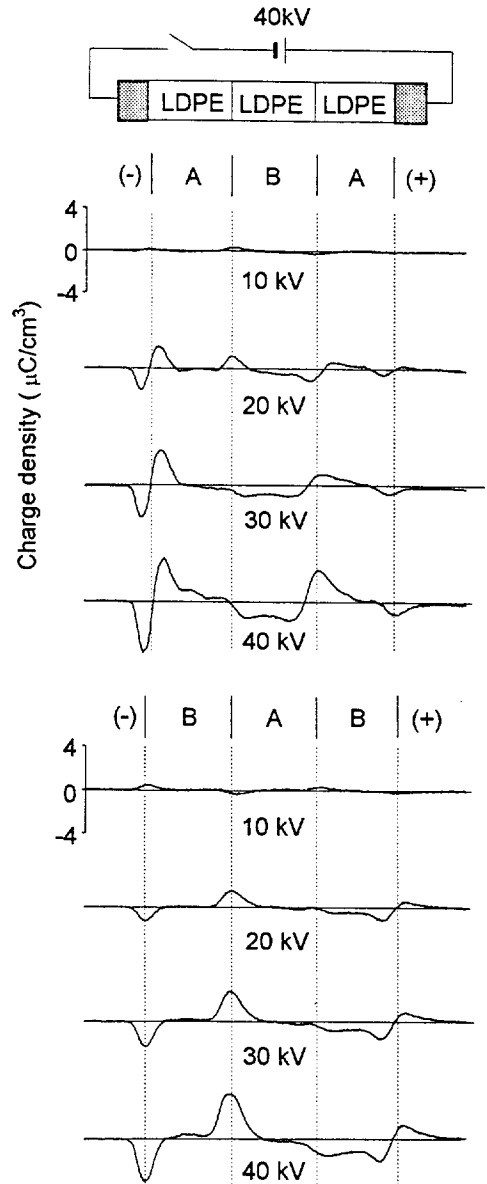


Fig. 9. Spatial charge profiles of triple layer laminates after the discharge.

분포로부터 계산된 전기장 분포도 Fig. 8의 두층 laminate에 대한 결과와 마찬가지로 LDPE B 층의 전기장이 LDPE A 층의 전기장 보다 높은 것을 알 수 있다 (Fig. 10). Fig. 11은 Fig. 9의 A/B/A 시편에 40 kV를 최고 4시간까지 가하거나 50 kV를

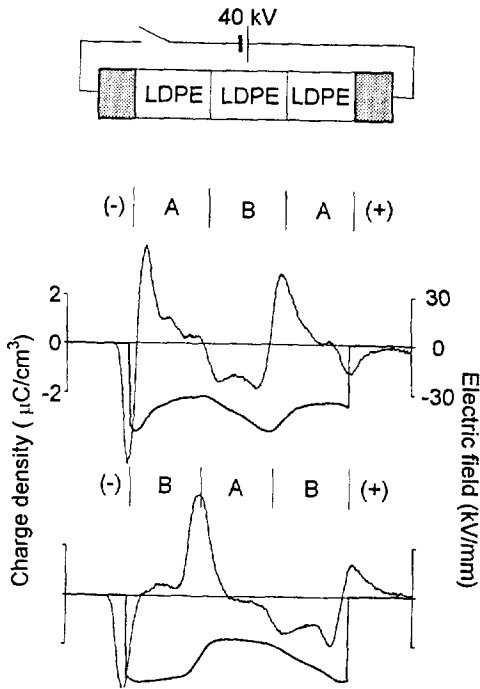


Fig. 10. Electric field profiles of triple layer laminates after the discharge (dot line : average field).

가한 후 측정된 전하분포이다. 40 kV에서 시간에 따라 이종전하가 감소하는데 50 kV에서는 이종전하가 더욱 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 높은 전압에서는 동종전하 주입이 잘 일어난다는 것을 말해 준다.

Laminate를 이용한 실험을 통하여 전하형성기구에 따라 계면전하의 양상이 상이하다는 것을 알 수 있었다. 즉, 이종전하 형성기구를 갖는 재료의 경우 laminate 내부의 계면에서는 전극과 시료의 계면에서와 같이 좌우에 서로 다른 전하가 축적되며 동종전하 형성기구를 갖는 재료의 경우 계면에 음전하가 축적되며 또한 접촉상태가 다른 경우에도 계면전하의 양상은 다름을 알 수 있었다. 이는 결국 재료특성이 다르거나 또는 laminate 제조조건이 다르면 계면전하의 양상도 달라진다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 서론에서 언급되었던 연구자에 따라 계면전하의 종류와 모양이 다르게 나타나는 문제에 대한 해답을 제시하는 것으로 생각된다. 결국 연구자마다 보고되는

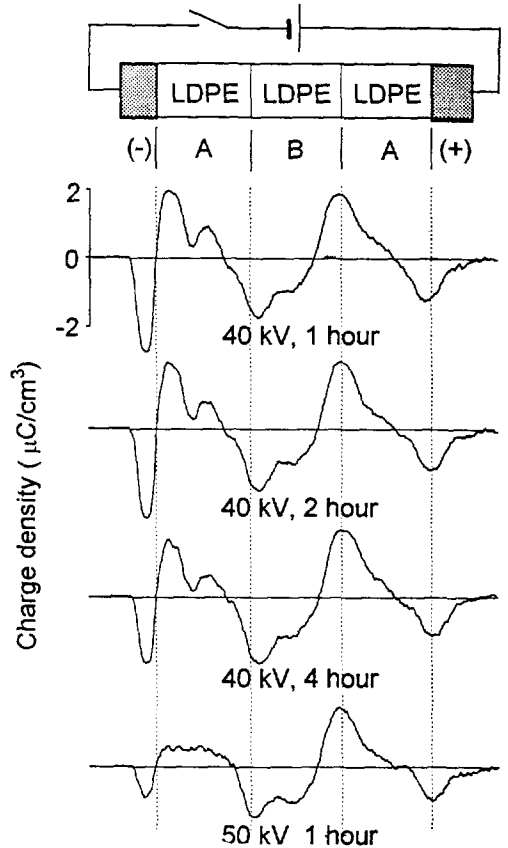


Fig. 11. Spatial charge profiles of A/B/A laminate at 40 and 50 kV.

전하분포 양상이 다른 것은 위에서 언급한 바와 같이 시료의 종류가 다르거나 또는 laminate 제조조건이 다르기 때문인 것으로 생각되는데, 현재로서는 시료에 대한 자세한 사항이 나와 있지 않기 때문에 직접적인 비교가 매우 어려운 상황이다.

이러한 결과는 두 가지 중요한 사실을 말해 주는데, 첫째는 동일 고분자라 할지라도 특성이 다른 경우 이들을 혼합하여 기저고분자로 사용할 경우 기저고분자의 전기적 특성은 예상과 다를 수 있다는 것이며, 둘째 적절한 처리에 의하여 이종재료간의 계면상태를 바꾸면 계면 때문에 발생하는 문제점을 완화시킬 수도 있다는 것을 말해 준다.

**LDPE A/LDPE B 블렌드.** Laminate를 이용한 결과가 블렌드에도 적용될 수 있는 지를 알아보기



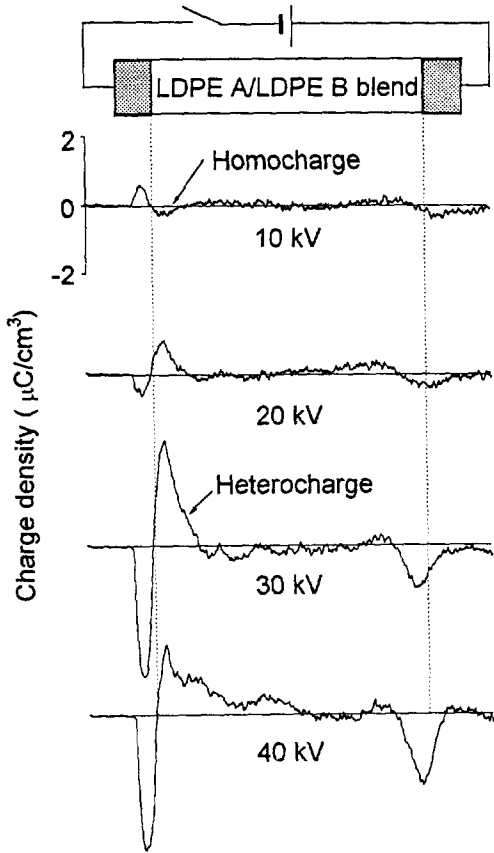


Fig. 12. Spatial charge profiles of LDPE A/LDPE B (50/50 wt%) blend after the discharge.

위하여 LDPE A/LDPE B (50/50 wt%) 블렌드를 만들었으며 이 블렌드 시료에 대한 잔류 전하분포가 Fig. 12에 나와 있다. Fig. 12를 보면 10 kV에서는 LDPE B 시료와 유사하게 동종전하가 축적된 것을 볼 수 있으며 전압을 증가시킴에 따라 이종전하 형성이 시작되어 20 kV부터는 이종전하가 축적되며 30 kV와 40 kV에서도 이종전하가 형성됨을 알 수 있다. 그러나 30 kV와 40 kV를 비교하면 40 kV의 경우 이종전하 피이크의 크기가 줄어들면서 비교적 넓은 부위에 형성됨을 알 수 있다. 이종전하 피이크가 감소하는 것은 높은 전압으로 인해 전극으로부터의 전자주입이 증가되어 이종전하를 상쇄시키기 때문인 것으로 생각된다. 이와 같이 높은 전압에서 이종전하량이 감소하는 현상은 laminate 시편에서도 관찰된 바 있다.

## 결론

폴리에틸렌 laminate을 이용하여 고분자 계면에서의 전하형성 특징을 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Laminate는 계면을 중심으로 각 층은 단층 시편과 동일한 공간전하 분포를 가지며 계면은 전하분포상의 불연속면을 형성하여 많은 양의 전하가 축적되는데, 계면전하의 양과 극성은 저분자량 성분의 함량에 큰 영향을 받는다.

(2) LDPE laminate의 접촉조건에 따른 계면 공간전하를 관찰한 결과 계면에서 재료간의 단절이 분명할수록 전하이동에 장애가 되어 계면전하의 양이 증가한다.

(3) 이종재료 간의 laminate에 있어 계면전하의 양과 극성은 전압크기에 따라 상이하게 나타난다. 즉, laminate의 계면전하는 수십 kV/mm 정도의 전기장에서는 이종전하가 우세한 영향을 미치나 더 높은 전압에서는 결국 전극으로부터 주입된 동종전하가 이종전하량을 감소시키는 것으로 관찰되었다. 이러한 결과는 블렌드에도 적용됨을 알았다.

감사의 글 : 본 연구는 한국전력공사의 지원 (과제번호 94-016)에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음.

## 참고 문헌

1. Y. Suzuoki, G. Cai, T. Mizutani, and M. Ieda, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **2**, 141-146 (1984).
2. N. Hozumi, T. Okamoto, and T. Imazo, *Proc. &h ISH*, Yokohama, Japan, 115-119 (1993).
3. Y. Li and T. Takada, *J. Appl. Phys.*, **74**, 2725-2730 (1993).
4. K. S. Suh, J. H. Park, J. Y. Kim, and T. Takada, *Proc. ISEI*, Pittsburgh, USA, 166-169 (1994).
5. K. S. Suh, J. J. Lee, J. Y. Kim, and T. Takada, *Proc. &h ISH*, Yokohama, Japan, 1, 111-114 (1993).
6. K. S. Suh, J. H. Koo, S. H. Lee, J. K. Park, and

- T. Takada, *Proc. 4th ICPADM*, Brisbane, Australia, 5-8 (1994).
7. K. S. Suh, J. H. Koo, S. H. Lee, J. K. Park, and T. Takada, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, Submitted (1994).
8. T. Ditchi, C. Aliquie, J. Lewiner, E. Favrie, and R. Jocteur, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, **EI-24**, 403-408 (1989).
9. K. S. Suh, E. J. Kim, T. Takada, and M. K. Han, *Proc. 4th ICSD'92*, Sestri Levante, Italy, 418-422 (1992).
10. Y. Li, M. Yasuda, and T. Takada, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **DEI-1**, 188-195 (1994).
11. C. C. Ku and R. Liepins, "Electrical Properties of Polymers", Hanser Publishers, 1987.