

# Polyethylene/Ethylene Vinyl Acetate Laminates의 전하축적현상

이창용·서광석<sup>†</sup>·김재영\*·강창균\*\*

고려대학교 재료공학과, \*한국타이어 중앙연구소, \*\*제일모직 화성연구소  
(1995년 1월 3일 접수)

## Charge Formation in Polyethylene/Ethylene Vinyl Acetate Laminates

Chang Ryong Lee, Kwang S. Sub<sup>†</sup>, Jae Y. Kim\*, and Chang G. Kang\*\*

Department of Materials Science, Korea University, Seoul 136-701, Korea

\*Material Development Dept., R & D Center, Hankook Tire Mfg. Co., Ltd., Taejoen 305-343, Korea

\*\*Cheil Industries Inc., R & D Center, Euiwang, Korea

(Received January 3, 1995)

**요약** : Pulsed electroacoustic method를 사용하여 polyethylene (PE)/ethylene vinyl acetate (EVA) laminates의 전하축적현상을 알아보았다. 단층시편의 경우 PE에는 이종전하가 EVA에는 동종전하가 형성되는데, 특히 EVA에는 양전하가 시료 전반에 걸쳐 형성되는 것을 알았다. PE/EVA laminate에서는 대부분의 전하가 계면에 축적되는 것으로 밝혀졌으며, 이 계면전하는 PE 층의 전기장을 크게 증가시키는 방향으로 국부적인 전기장을 왜곡하여 PE층으로의 전하주입을 도우는 것으로 생각된다. PE/EVA laminate의 결과를 이용하여 PE/EVA 블렌드의 전하형성을 설명하였다.

**Abstract** : The space charge formation in polyethylene (PE)/ethylene vinyl acetate (EVA) laminates was investigated using a Pulsed Electroacoustic (PEA) method. The formation of heterocharge was observed in PE while the formation of homocharge in EVA. In particular, EVA shows the positive charge (holes) spreaded all over the specimen. In PE/EVA laminates, a large amount of charge accumulated at the PE/EVA interfaces, which distorts the internal electric field in the direction to enhance the electric field in PE layer and consequently encourage the charge injection into the PE layer. An attempt was made to explain the space charge formation in PE/EVA blends using the data for PE/EVA laminates.

**Keywords** : polyethylene, EVA, charge formation, blend, laminate.

### 서론

전력케이블의 주절연용으로 사용되어 지고 있는 폴리에틸렌은 전기장 내에서 장시간 사용됨에 따라 전기 또는 수분 등의 요인에 의해 열화가 발생하여 재료의 절연강도를 낮춘다. 이를 막기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 중 특히 문제가 되고

있는 수트리 열화에 의한 절연파괴를 억제하기 위하여 몇가지 방법이 제안되고 있다. 예를 들어, 절연층의 양쪽에 얇은 금속판을 삽입하여 절연체를 차폐시킴으로써 수분의 침투를 막는 방법을 사용하거나, 또는 절연체인 폴리에틸렌을 개질시키는 것으로 이에는 첨가제나 충전제를 혼합하거나 다른 고분자와의 블렌딩 등의 방법이 있다.<sup>1</sup> 수트리는

절연체에서 미세 크랙이 전파되는 현상으로서, 이는 절연체의 인성 (toughness)을 증가시킴으로써 어느 정도 억제할 수 있다. 따라서 폴리에틸렌의 인성을 증가시키기 위하여 EVA (ethylene vinyl acetate copolymer) 또는 ionomer를 블렌딩하기도 한다.<sup>2,3</sup>

두 종류의 고분자 물질을 블렌딩할 경우 계면의 생성은 필연적이며, 전하이동도, 유전상수와 호핑 거리 등의 차이에 의하여 공간전하가 계면에 축적되게 된다. 계면에 축적된 공간전하가 증가하면 재료 내의 국부적인 전기장의 왜곡을 유발하고 이는 절연체의 절연 성능의 변화를 유발한다. 그러나, 블렌드에서의 계면은 미시적이고 임의의 분포상황을 가지고 있기 때문에 직접적으로 계면의 성질을 연구하기란 쉽지 않기 때문에 간단한 모델로서 고분자 laminate를 사용하곤 한다. 계면의 연구에 있어서 관찰의 어려움 때문에 laminate를 사용하여 재료의 전하축적특성을 연구하는 것이 실제 계면의 상황과 가장 근사한 시스템으로 여겨진다. PE/EVA 블렌드에서는 통상 적은 양이 첨가된 EVA에 의하여 PE가 둘러 싸여져 있는 형상을 취하게 되며 이는 3층을 적층하여 전하축적을 관찰하는 것과 유사할 것이라고 생각된다. 블렌드에서는 두 개의 고분자가 이루는 계면의 상황이 여러 종류일 것이나 이를 미시적으로 조절하기에는 어려움이 있으므로 laminate를 통한 전하축적특성의 연구는 계면의 접촉상태를 실험적으로 변화시킬 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그리고, 보고된 바에 따르면 고분자층을 접착시켜서 만든 laminate 구조는 블렌드 내의 계면의 성질에 대한 정보를 제공해 주며, 많은 양의 전하가 계면에 축적되며 laminate에서의 전하분포는 구성하고 있는 각각의 고분자들의 전하분포와는 다른 것으로 보고되어 졌다.<sup>4-7</sup>

본 연구는 PE/EVA 블렌드의 전기적 성질에 영향을 미치는 전하축적특성과 전하형성에 미치는 계면의 역할을 알아보기 위하여 시작되었다. 따라서, 블렌딩 과정에서 필연적으로 발생하는 계면을 갖는 재료의 전하축적현상 연구의 하나로써 PE와 EVA laminate에서의 전하분포에 대하여 연구하고자 한다.

## 실 험

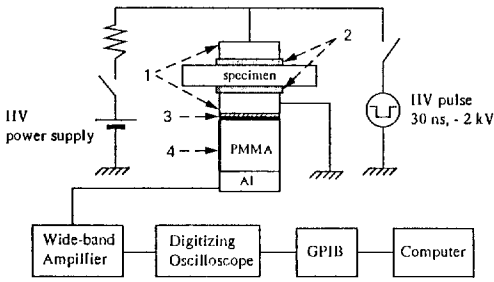
**시 료.** 본 연구에서 사용한 저밀도 폴리에틸렌 (low density polyethylene; LDPE)은 국내 석유화학회사에서 생산되어 전력케이블의 절연체로 사용되는 것이며, 밀도는  $0.920 \text{ g/cm}^3$ 이고 용융지수는  $2.0 \text{ g/10 min}$ 이다. EVA는 국내석유화학회사에서 생산된 것으로 vinyl acetate의 양은 15%이며, 전극으로 쓰인 반도체성 재료는 국내 컴파운드 회사에서 제조된 것으로 케이블의 내부 반도체층으로 쓰이고 있는 것이다.

**시 편.** PE와 EVA는  $120^\circ\text{C}$ 에서 10분간, 그리고 반도체성 재료는  $180^\circ\text{C}$ 에서 20분간 Carver Laboratory사의 hot press를 이용하여  $23 \text{ kgf/cm}^2$ 의 압력을 가하여 시편을 압축성형하였다. 반도체성 전극의 제조시 내부에 남아있는 가교 부산물이 시편의 공간전하형성에 영향을 주는 것으로 알려져 있기 때문에 전극제조 후  $80^\circ\text{C}$ 에서 100시간동안 진공처리하여 사용하였다.<sup>8</sup>

전하분포측정을 위한 시편은 디스크 형태로 2층 laminate의 경우는 약  $500 \mu\text{m}$ 의 두께로, 3층 laminate는 약  $300\text{-}400 \mu\text{m}$ 의 두께를 가진 고분자층을 접착하여 전체두께를  $1000\text{-}1100 \mu\text{m}$ 로 고정하였다. 전기전도실험을 위한 시편은 PE와 EVA를 동일 조건에서 약  $50 \mu\text{m}$  두께의 필름 형태로 만들고, 두께가  $150\text{-}200 \mu\text{m}$ 로 압축성형된 반도체성 재료를 약간의 열과 압력을 가하여 시편의 양면에 부착하였다.

**전하분포 측정.** PEA (Pulsed electroacoustic method) 방법을 사용하여 전하분포를 측정하였으며 장치를 Fig. 1에 나타내었다.<sup>9,10</sup> 본 실험장치는 고전압 발생장치, 전기펄스 발생장치, 시편홀더, 검출기, 증폭기, 오실로스코프와 컴퓨터로 이루어져 있으며 압전소자에 사용된 PVDF 필름의 두께는  $28 \mu\text{m}$ 이다.

시편의 한쪽 전극에  $10 \text{ kV}$ 부터  $40 \text{ kV}$ 까지의 직류 고전압을 시편에  $5 \text{ kV}$  간격으로 30분동안 단계적으로 증가시켜 가면서 인가하면 시편 내부에



**Fig. 1.** Apparatus for the measurement of spatial charge distributions. 1. Al electrode, 2. semiconductive electrode, 3. PVDF, 4. Al film.

전하가 축적된다. 이러한 시편에 폭이 30 nsec이고, 크기가 -2 kV인 전기펄스를 가하여 압력파를 발생시키고 이 압력파는 압전소자에서 전기적 신호로 변환되며 증폭기를 통해 100배 크기로 증폭되어 오실로스코프에서 전압 단위로 측정하게 된다. 이 결과들은 다시 GPIB를 통해 컴퓨터로 전송되고, 얻어진 값들을 전류밀도 단위로 보정하였다. 모든 측정은 전압을 30분 동안 가한 후 단락시킨 다음 전압제거상태의 전하분포를 측정하였으며, 전기장 분포를 구하기 위해 전압을 가할 때의 전하분포도 측정하였다.

**전기전도도 측정.** 실험장치와 전도기구의 분석방법은 기존에 보고되어진 것과 같고,<sup>11</sup> 본 연구에서는 30°C에서 직류전압을 50 V부터 1800 V까지 단계적으로 증가시켜 가며 전류를 측정하였으며 전압을 가한 후 30분이 지난 전류값을 정상상태의 전류값으로 하였다.

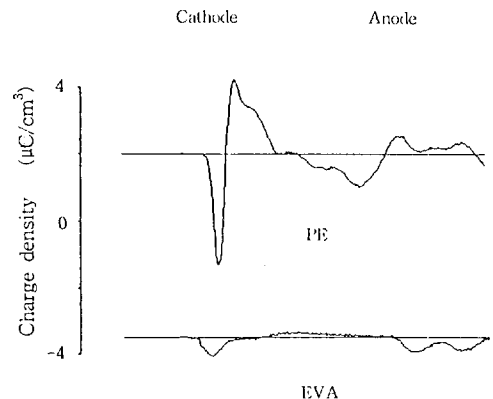
분석된 전기전도기구로부터 전하이동도와 호핑 거리는 다음과 같은 방법으로 구하였다. 공간전하제한 전도가 적용되는 전기장 영역에서는  $J = (9/8)\epsilon\epsilon_0\mu_{eff}V^2/d^3$ 의 관계가 성립된다. 여기에서  $J$ 는 전류밀도,  $\epsilon$ 는 시편의 유전율,  $\epsilon_0$ 는 진공에서의 유전율,  $\mu_{eff}$ 는 유효 전하이동도,  $V$ 는 가해진 전압,  $d$ 는 시료의 두께인데, 전류밀도와 전압의 그래프에서 얻은 기울기로부터 간단한 계산에 의해 유효 전하이동도를 구해낼 수 있다. 또한 전하의 이동이 한 안정위치에서 다른 안정위치로 전위장벽을 넘어 움직이는 호핑

전도 (hopping conduction)의 경우,  $J = J_0 \sinh(eEN/2kT)$ 의 식에서  $E$ 는 가해진 전기장,  $\lambda$ 는 호핑 거리이며  $\log J$ 와  $E$ 관계에서 높은 전기장 영역의 기울기로부터 호핑 거리를 구할 수 있다.<sup>12</sup>

### 결과 및 고찰

**단층시편.** 40 kV의 전압을 30분간 가한 후 전압을 제거하였을 때 저밀도 폴리에틸렌과 EVA의 전하분포를 Fig. 2에 나타내었다.

폴리에틸렌의 경우 전극으로부터 주입되는 전자가 전하운반자로 작용한다고 알려져 있으므로<sup>13</sup> 재료 내에 동종전하가 보여질 것으로 예상할 수 있으나 전하분포결과는 이종전하가 축적되어진 것으로 관찰되었다. 이는 폴리에틸렌 내의 불순물 또는 극성 첨가물 등이 분극되거나 또는 이들이 대전되어 반대의 극성을 가진 전극으로 이동함으로 인해 나타나는 이종전하의 영향이 전극으로부터 주입되는 동종전하의 축적보다 강하여 전체적으로 이종전하가 재료 내에 존재하는 것으로 보인다고 여겨진다. 특히 PE의 경우 저분자량의 PE 단사슬도 이종전하를 형성할 수 있다.<sup>14</sup> EVA에서는 음전극 쪽에는 음전하 (전자, electrons)가 양전극 쪽에서는 양전하 (정공, holes)가 축적됨을 볼 수 있으며 이로부터 EVA에서는 동종전하 주입이 우세한 전하



**Fig. 2.** Spatial charge distributions of PE and EVA after voltage (40 kV) removal.

형성 기구임을 알 수 있다. 또한, 음전극 부근의 음전하는 양이 작으며 이와는 반대로 양전극에서 주입된 양전하는 재료 내의 넓은 부분에 걸쳐 축적되는 현상을 볼 수 있다. 이는 다른 문헌에 보고된 것과 같이 EVA 내의 전하축적은 전극으로부터 주입되는 전하들에 의해 형성되며, 주된 전하운반자는 정공이라는 것과 일치하는 것을 볼 수 있었다.<sup>15</sup>

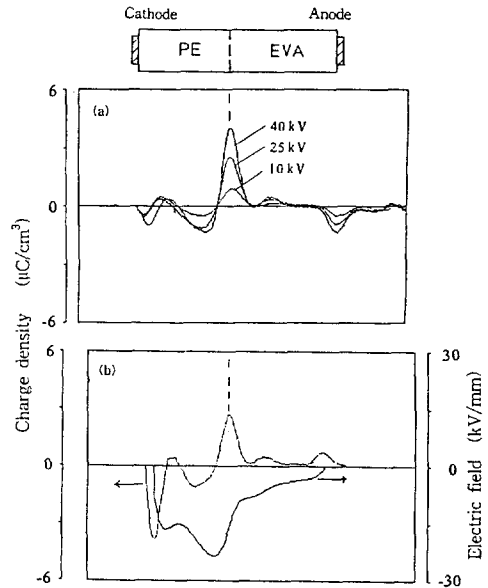
본 연구에서 폴리에틸렌보다 EVA가 전압을 제거하면 전하가 빠르게 이동하여 재료 내에 아주 작은 양만이 남게 되는 결과를 얻었다. 이러한 차이의 원인에 대해 확인하기 위해 전기전도실험을 통하여 전하이동도와 호핑거리를 구하여 Table 1에 나타내었다. 전기전도실험결과, PE의 전하이동도와 호핑거리가 각각  $5.082 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , 38-40 Å이며, EVA의 전하이동도는  $1.646 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , 35 Å이므로 PE보다 EVA의 전하이동도가 크고 호핑거리는 짧은 것으로 관찰되었다. 그러므로, 전압을 가하는 동안에 EVA 내부로 주입되었던 전하는 전압제거시 전극쪽으로 쉽게 방전되어 전압 제거시 시료에 남는 잔류전하량이 작은 것으로 생각된다. 이와 같이 EVA에서 전하의 이동이 수월한 것은 EVA에 있는 카보닐기가 전하의 호핑자리로 작용했기 때문인 것으로 생각된다.

**2층 Laminate.** 폴리에틸렌에 음전압을, EVA에 양전압을 가한 후 전압을 제거해서 전하분포를 측정한 결과가 Fig. 3(a)에 나타나 있으며, 20 kV의 전압을 가할 때의 전하분포와 전기장 분포를 (b)에 나타내었다.

측정결과, 단층시편에서와 같이 PE에는 이종전하가, EVA에는 양전하가 축적되나 계면에는 아주 큰 양전하가 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이종전하가 축적되어 있는 PE에서는 공간전하가 가해진 전압의 증가에 따라 PE 내부로 약간 이동하는 모습을 볼 수 있다. 이는 전압의 증가로 인해 주입되는 전자의 수가 많아지므로 음전극부근의 이종전하가 중화되어 내부로 이동하는 것으로 나타나게 되는 것으로 여겨진다. EVA에는 단층시편에서와 같이 시료 내부에 양전하가 축적되며, 가해진 전압의

**Table 1.** Charge Mobility and Hopping Distance of PE and EVA

Sample	Mobility( $\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ )	Hopping Distance (Å)
PE	$5.082 \times 10^{-16}$	38-40
EVA	$1.646 \times 10^{-14}$	35



**Fig. 3.** PE/EVA laminate : (a) spatial charge distributions after voltage removal and (b) spatial charge and electric field distributions at 20 kV.

증가에 따라서 축적되는 전하량이 증가하는 결과를 얻었다.

절연체에 전기장을 가할때 전극으로부터 주입된 전하가 재료 내를 지나 다른 쪽의 전극에 도달하면 절연체에 축적되어진 전하는 없다. 그러나, 이동하는 전하가 계면이나 다른 극성기들에 의하여 트랩되면 시료 내부에 축적되며 이는 전기장의 부분적인 왜곡을 가져오고 이는 절연 성능에 영향을 미칠 수 있다. PE/EVA laminate에서 계면에 생성된 양전하는, 가해진 전압에 의해 양전극으로부터 주입된 정공이 PE/EVA 계면을 통과하지 못해서 계면에 축적되는 것으로 여겨진다. 그러므로, 앞서의 EVA의 주된 전하운반자가 정공이라는 결과와 단층시편을 이용하여 측정한 전하이동도가 PE보다

EVA에서 더 크다는 사실로부터, EVA 층은 전하가 전압을 가하거나 제거하는 경우 쉽게 움직일 수 있어 EVA 층이 확장된 전극의 역할을 하게 되는 것으로 여겨진다.

또한, 전압을 가하는 동안의 전하분포와 전기장 분포를 측정한 Fig. 3(b)를 살펴보면 EVA보다 PE 층에 가해지는 전기장의 크기가 훨씬 더 크다는 것을 볼 수 있다. 따라서 계면에 생성된 양전하는 국부적인 전기장의 왜곡을 가져와 PE 층에 더 큰 전압이 걸리게 되며, 이 큰 전기장은 전자의 주입을 강화하여 동종전하의 형성을 증가시키고, 축적된 이종전하가 시료 내부로 이동하며 계면에 양전하가 축적된 것과 같은 모습을 나타내는 것으로 여겨진다. 이로부터 PE/EVA laminate에서 계면은 EVA에서의 상대적으로 큰 전하이동도로 인하여 전극의 역할을 하게 되는 것으로 생각된다.

앞서의 실험과는 반대로 PE에 양전압을 EVA에 음전압을 가한 후, 전압을 제거하고 측정한 전하분포가 Fig. 4(a)에, 20 kV 전압을 가하는 동안의 전하분포와 전기장분포를 (b)에 나타내었다. 가해지는 전압의 극성을 변경시키면 EVA에는 양전하가 PE에는 이종전하가 축적되고 계면에 음전하가 형성되는 것으로 관찰되었다. EVA는 주된 전하운반자가 정공으로 알려져 있으나 본 실험에서는 EVA 층에 음전압이 가해지게 되므로 정공의 주입이 어려울 것으로 생각된다. 따라서 EVA 층에 주입된 전자가 전하이동도가 큰 EVA 층을 통과하여 PE 층으로 이동하다가 PE 층의 낮은 전하이동도로 인하여 계면을 지나가지 못하고 트랩되어 축적되면, 계면에 음전하를 형성하게 되는 것으로 생각된다. 그리고, 전기장 분포를 나타낸 (b)에서 PE/EVA의 결과와 같이 PE층에 더 큰 전기장이 가해지는 결과를 얻었으므로, 이 경우에도 PE 층으로의 전하주입이 강화되어 동종전하 형성을 도우는 것으로 생각된다.

20 kV의 전압을 가하는 동안의 전하분포와 전기장 분포를 측정한 Fig. 3(b)와 Fig. 4(b)를 살펴보면 두 경우 모두 EVA층 보다 PE층에 가해지는 전

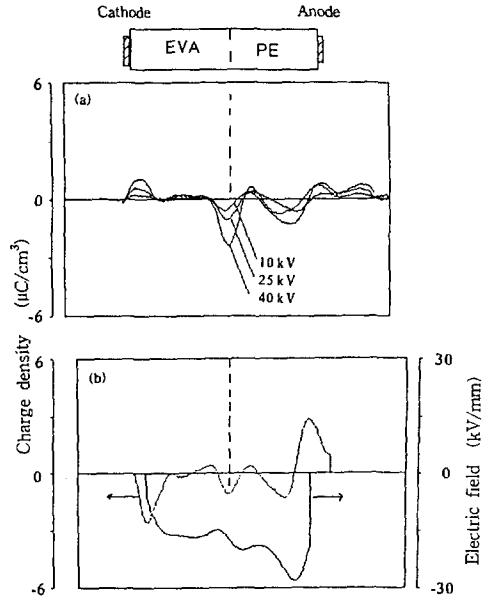
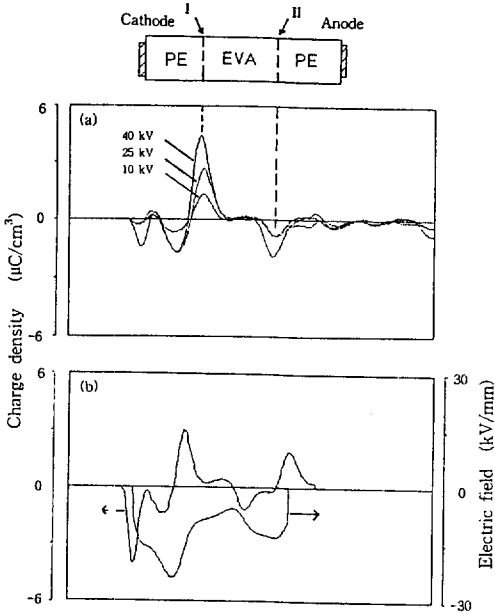


Fig. 4. EVA/PE laminate : (a) spatial charge distributions after voltage removal and (b) spatial charge and electric field distributions at 20 kV.

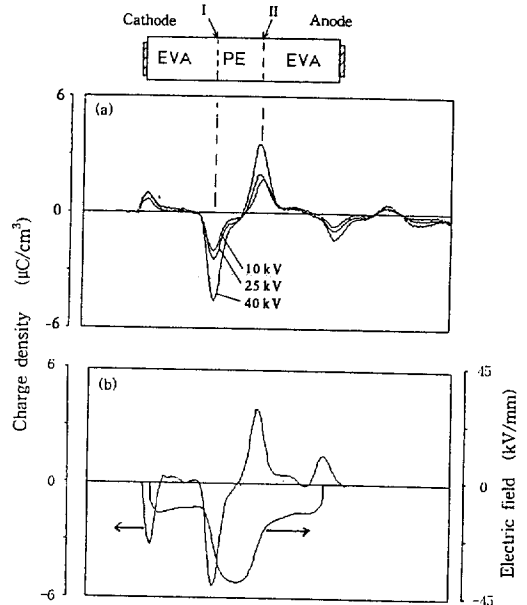
기장의 크기가 훨씬 더 크다는 것을 볼 수 있다. 따라서 계면에 생성된 양전하는 국부적인 전기장의 왜곡을 가져와 PE 층에 더 큰 전압에 걸리게 되며, 이 큰 전기장은 전자의 주입을 강화하여 동종전하의 형성을 증가시키고, 축적된 이종전하가 시료 내부로 이동하며 계면에 양전하가 축적된 것과 같은 모습을 나타내는 것으로 여겨진다.

**3층 Laminate.** PE/EVA의 블렌드는, EVA가 더 적은 양이 혼합되므로 PE 사이에 얇은 층의 EVA가 둘러 싸고 있는 형상이라고 할 수 있으며, 이는 3층 laminate와 유사한 시스템이라 사료된다. 3층 laminate 연구에서 먼저 PE/EVA/PE와 적층순서를 바꾼 EVA/PE/EVA 시료의 전하분포를 측정하였으며, 이들 3층 laminate는 겹쳐 놓은 후 80°C에서 10분동안 7 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 압착한 시편에 대한 전하분포 측정을 실시하였다.

Fig. 5의 (a)와 (b)에 나타낸 것과 같이 PE층에 전압을 가한 시료의 경우 PE/EVA 계면 (이후 계면 I)에는 양전하가 축적되고 EVA/PE 계면 (이후 계면 II)에는 음전하가 축적되며, 중간



**Fig. 5.** PE/EVA/PE laminate : (a) spatial charge distributions after voltage removal and (b) spatial charge and electric field distributions at 20 kV.



**Fig. 6.** EVA/PE/EVA laminate : (a) spatial charge distributions after voltage removal and (b) spatial charge and electric field distributions at 20 kV.

EVA 층에는 양전하가 축적되는 것으로 나타났다. 20 kV의 전압을 가할 때 전기장 분포를 나타낸 Fig. 5(b)에서 PE/EVA/PE 시료의 경우, EVA의 상대적으로 높은 전하이동도로 인한 EVA의 전극 효과에 의하여 PE에 더 큰 전기장이 걸리게 되는 것으로 여겨진다. 따라서 전압을 가하는 경우 주입된 정공들이 전압을 제거하면 반대의 극성을 가진 전극으로 이동하다 계면 II를 통과하여 계면 I에 도착하게 되면 PE의 낮은 전하이동도로 인해 계면 I에 축적되고, 음극으로부터 주입된 전자의 경우도 전하이동도의 차이로 인하여 계면 II에 축적되는 것으로 여겨진다.

이와는 반대로 EVA층에 전압을 가한 시료에서는 계면 I에 음전하가 계면 II에는 양전하가 축적되어 PE층에 이중전하가 축적되는 양상을 보여 준다. EVA의 위치에 따라 계면에 축적되는 전하의 극성이 바뀌며 이를 Fig. 6의 (a)와 (b)에 나타내었다. (a)는 전압을 제거한 후의 공간전하분포를 측정된 것이고, (b)는 20 kV의 전압을 가하는 경우

하는 경우 전기장 분포와 공간전하분포를 함께 나타낸 것이다. EVA/PE/EVA laminate의 경우, 계면 I과 계면 II의 전하는 각각 음극과 양극에서 주입된 전자와 정공에 의하여 형성된 것으로 이는 EVA에서의 빠른 전하이동도로 인한 것으로 생각된다. EVA 층에 생성된 작은 양의 양전하는 양전극에서 주입된 정공에 의한 것으로 추정되고 PE 층에는 작은 양의 동종전하가 축적되는 것으로 관찰되었다. 전극의 역할을 하는 양쪽의 EVA 층에 의하여 증가되는 전기장의 영향을 받기 때문에 EVA 층을 지나온 전하의 주입이 증가하여 PE 전체에서는 동종전하가 형성되나 두께가 얇아서 서로를 구별할 수 없는 것으로 생각한다.

적층순서의 영향을 받는 전하분포가 PE/EVA/PE laminate에서 EVA의 두께를 달리하였을 경우 어떻게 달라지는가를 Fig. 7에 나타내었다. EVA의 두께를 800, 330, 100  $\mu\text{m}$ 로 변화시켰을 경우 PE 시료의 두께를 다르게 하여 전체적인 시료의 두께를 1000-1100  $\mu\text{m}$ 로 유지하였다. EVA의 두께를 달리

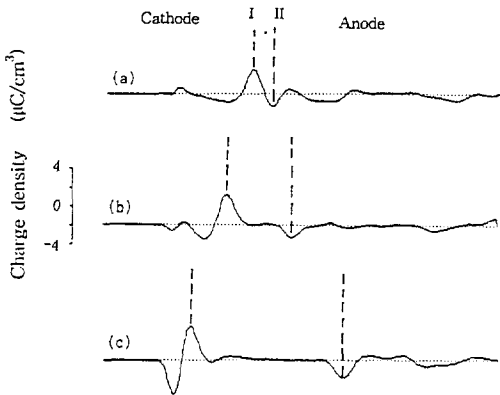


Fig. 7. Thickness dependence on the spatial charge distributions in PE/EVA/PE laminates : (a) 100  $\mu\text{m}$  EVA, (b) 330  $\mu\text{m}$  EVA, and (c) 800  $\mu\text{m}$  EVA.

하여 측정된 결과 계면 I에는 양전하가, 계면 II에는 음전하가 축적되는 전하의 분포상황은 달라지지 않는 것으로 관찰되었다. 100  $\mu\text{m}$ 의 EVA를 사용한 laminate에서는 분해능의 한계로 인하여 EVA층 내에 쌓이는 전하의 극성을 구분할 수는 없었으나 330과 800  $\mu\text{m}$ 의 시료에서는 계면전하형성을 뚜렷이 관찰할 수 있었다. 전체 시료의 두께를 고정하고 laminate 가운데 위치하고 있는 EVA의 두께가 증가하면 계면에 축적되는 전하의 양과 양쪽 PE에 걸리는 전기장이 증가하는 것으로 관찰되었다. 그리고 적층 순서를 바꾼 EVA/PE/EVA laminate에서도 두께의 변화에 의해 전체적인 전하분포가 달라지지 않으므로 전하축적현상에 미치는 영향은 없는 것으로 여겨진다.

## 고찰

본 연구에서 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) PE에는 이종전하가 형성되고 EVA에는 동종전하가 형성되며 EVA에는 양전하가 시료 전반에 걸쳐 형성된다.
- (2) Laminate에서는 계면에 많은 양의 전하가 축적된다.
- (3) 두께변화에 따라서 계면에 축적되는 전하의

분포가 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

PE/EVA laminate를 사용하여 전하분포를 측정된 결과, 축적된 공간전하의 분포는 PE와 EVA 사이의 계면에 축적되는 전하에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있었다. EVA는 PE보다 빠른 전하 이동도를 가지기 때문에 전극에서 방출되어 EVA 층으로 들어온 전하들은 전압이 제거되더라도 이동하여 주입된 전극쪽으로 가려고 하나 계면에 트랩되어 계면전하를 형성하게 된다. 계면은 전하의 트랩장소로 작용하여 이 계면에 축적되는 전하는 시편에 가해지는 전기장의 국부적인 왜곡을 가져오게 된다. 계면전하에 의해 변형된 전기장이 3층 laminate 구조에서의 PE 층에 동종전하의 주입을 야기시켜 시편 내부에 이종전하의 효과가 점차로 감소하여 확실하게 구분해 낼 수는 없었으나 동종전하의 축적을 확인할 수 있을 정도로, 단층 PE와는 다른 전하분포를 갖게 한다. EVA 층이 양극에 위치하면 EVA 내에 양전하가, 음극에 위치하면 음전하가 축적되는 것으로 관찰되었다. 이는 전기전도실험을 통한 EVA 내에서 주입된 전하의 이동이 더 쉽다는 사실과 laminate의 전기장 분포를 측정된 결과로부터 EVA가 전극의 역할을 하게 되는 것으로 여겨진다. 이는 외부에서 가해주는 전기장보다 더 높은 전기장이 PE에 가해지는 결과를 초래하게 되며 동종전하 주입을 증가시키기 때문으로 생각된다. 또한 EVA의 두께를 변화시켜 가며 전하분포를 측정된 결과에서 EVA의 두께가 증가하면 상대적으로 감소된 두께를 갖는 PE에 걸리는 전기장이 증가하여 동종전하의 주입도 증가하는 것으로 생각된다. 두께의 변화에 따른 전하분포의 측정에서 EVA의 전극으로서의 역할은 두께의 증가에 따라 증가하는 것으로 생각된다.

위에서 언급한 PE/EVA laminate에 대한 결과를 PE/EVA 블렌드의 전하형성의 설명에 응용하기 위하여 PE/EVA 블렌드의 전하분포를 측정하였으며 그 결과가 Figs. 8과 9에 나와 있다. 이 실험에는 VA 함량이 15%인 EVA를 사용하였으며 블렌드의 VA 함량이 1%와 4%가 되도록 각각

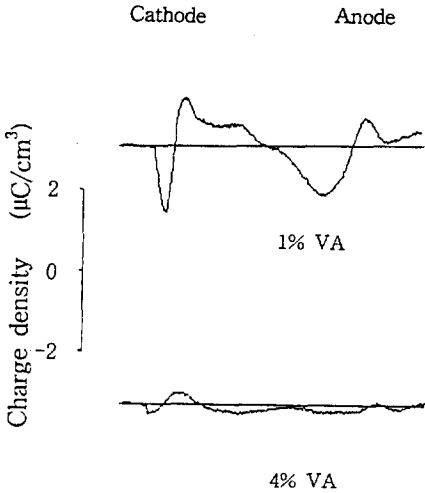


Fig. 8. Spatial charge formation of PE/EVA blend after voltage (40 kV) removal.

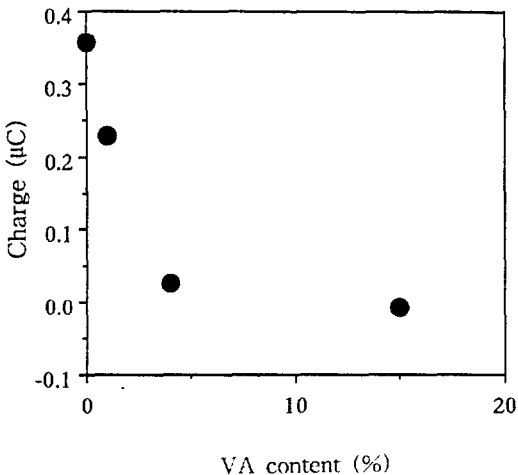


Fig. 9. Charge near the cathode of PE/EVA blends.

6.5, 22.0 wt%의 EVA를 two roll mill에서 블렌드하였다. Fig. 8은 40 kV의 전압을 30분간 가한 후 전압을 제거한 상태에서 잔류전하분포를 측정하고 음전극쪽의 이종전하량을 계산하여 Fig. 9에 VA 함량의 함수로 표시하였다. VA 함량이 1%인 블렌드에서는 시료 내에 이종전하가 축적되며 전체적인 분포형태는 PE의 경우와 유사하게 보이나, 축적된 전하의 양은 Fig. 1의 단층 PE보다 작다는 것을 볼 수 있다. VA 함량이 4%인 블렌

드의 전하분포를 보면 음전극쪽의 이종전하량이 더욱 감소하는 것을 볼 수 있다.

이는 더 많은 양의 EVA를 넣은 VA 함량이 4%인 경우 생성되어지는 계면의 양이 더 많아 축적된 전하의 양이 증가할 것으로 생각되나 실제로는 반대결과를 얻었다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 계면에 형성된 많은 양의 전하가 국부적인 전기장을 왜곡시켜 PE 쪽에 높은 전기장이 형성되어 동종전하 주입을 활발하게 하여, 결국 PE에 있는 이종전하량이 감소하는 것으로 생각된다.

## 결론

폴리에틸렌과 VA 함량이 15%인 EVA를 사용하여 단층, 2층, 그리고 3층 시편의 전하축적현상과 PE와 EVA의 전기전도특성을 고찰하였다.

(1) 단층의 폴리에틸렌은 시료 내부에 이종전하가 축적되며 극성의 카보닐기를 가진 EVA는 시료 내에 전체적으로 적은 양의 양전하가 축적되는 것으로 관찰되었다.

(2) PE/EVA laminates를 사용하여 전하분포를 측정하고, 대부분의 전하는 계면에 축적되며 이는 PE와 EVA의 전하이동도와 호핑거리의 차이에서 기인하는 것으로 관찰되었고, PE의 전하이동도와 호핑거리가 각각  $5.082 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , 38-40 Å이며, EVA의 이동도와 호핑거리가  $1.646 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , 35 Å으로 계산되었다.

(3) 두께를 변화하여 전하분포를 측정하고 계면에 생성되는 전하의 분포에는 영향이 없는 것으로 여겨진다.

(4) 본 연구에서 EVA는 전극의 역할을 하여 폴리에틸렌에 외부에서 가해주는 전기장보다 높은 전기장이 가해져 결국 PE 쪽으로 동종전하 주입을 유발한 것으로 생각된다.

**감사의 글 :** 본 연구는 한국전력공사의 연구비 지원(과제번호 : 94-016)에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음.



참 고 문 헌

1. E. F. Steennis and F. H. Kreuger, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, **EI-25**, 989 (1990).
2. R. Bartnikas and K. D. Srivastava, "Power Cable Engineering", Sandford Educational Press, Waterloo, Ontario, 1987.
3. H. Fukugawa and Y. Yasuo, *Comm. B III-2, J' Cable 84*, 283 (1984).
4. J. H. Lee, M. K. Han, S. J. Kim, D. W. Jeong, and K. S. Suh, *Proc. ICSD '92*, Sestri Levante, Italy, June (1992).
5. Y. Li and T. Takada, *J. Appl. Phys.*, **74**, 2725 (1993).
6. N. Hozumi, T. Okamoto, and T. Imazo, *8th ISH*, Yokohama, Japan, 115 (1993).
7. K. S. Suh, J. J. Lee, J. H. Park, and T. Takada, *CEIDP '93*, Pocono Manor, USA, 203 (1993).
8. K. S. Suh, E. J. Kim, M. K. Han, and T. Takada, *Proc. 1992 KJCEM*, Cheongju, Korea, 116 (1993).
9. Y. Li, M. Yasuda, and T. Takada, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **DEI-1**, 188 (1994).
10. E. J. Kim and K. S. Suh, *Polymer Science and Technology*, **2**, 158 (1991).
11. K. S. Suh, C. R. Lee, and M. K. Han, *Polymer (Korea)*, **15**, 431 (1991).
12. J. J. O'Dwyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Oxford University Press, Oxford, 1973.
13. M. Ieda, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, **EI-22**, 261 (1987).
14. K. S. Suh, J. H. Koo, S. H. Lee, and J. K. Park, *Proc. 26th SEIM*, Osaka, Japan (1994).
15. Y. Suzuoki, H. Moto, T. Mizutani, and M. Ieda, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **20**, 1053 (1987).