

XLPE/SXLPE laminate의 계면전하 거동

Interfacial charge Behaviors in XLPE/SXLPE Laminates

고정우*, 남진호*, 서광석**

(Jung Woo Ko*, Jin Ho Nam*, Kwang S. Suh**)

Abstract

Space charge distributions in silane crosslinked polyethylene (SXLPE)/ crosslinked polyethylene (XLPE) laminates was investigated using a pulsed electroacoustic (PEA) method. XLPE shows heterocharge while SXLPE shows homocharge. Positive charge is accumulated at the interface of SXLPE/XLPE laminate when applied electric field is more than 20 kV/mm. The charge profile at various temperatures was also acquired using temperature-controllable PEA system. Although applied electric field is only 8.6 kV/mm, positive interfacial charge starts to appear near 50 °C.

Key Words : Interfacial charge, SXLPE/XLPE laminate, PEA method

1. 서론

폴리에틸렌이나 에틸렌계 공중합체와 같은 고분자들은 전력 케이블의 절연체로써 널리 사용되어 왔다. 그리고 이러한 전기 절연분야에 있어서 블렌딩 기술은 단일 재료 사용에 있어서의 결점을 극복하기 위해서 자주 사용되어진다. 그러나 고분자 블렌드 내에는 불가피하게 거시적, 미시적인 계면들이 존재하게 되고 이러한 계면들은 여러 가지 문제점들을 야기할 수 있다. 그렇기 때문에 고분자 계면에서의 현상을 살펴보는 것은 고분자 블렌드의 전기적 성질을 연구하는 데에 있어서 매우 중요한 부분이라 할 수 있다.

블렌드 내에 존재하는 계면은 그 크기가 매우 작고 시편 전체에 걸쳐 불규칙하게 분포되어 있어서 실험 결과의 해석이 매우 어렵기 때문에 블렌드 자체는 계면 현상 연구를 위한 시편으로서는 그리 좋지 못하다. 그러므로 블렌드의 계면을 가상화할 수

있는 laminate 구조를 구성하여 현상을 살펴보는 것이 효과적인 방법일 것이다.

이전의 연구 결과에서 SXLPE와 XLPE/SXLPE 블렌드는 XLPE에 비하여 더 우수한 수트리 저항성을 지닌 것으로 보고된 바 있다 [1-2]. 전기적 성질과 장기 신뢰성을 한 층 더 향상시키기 위해서는 XLPE와 SXLPE 간의 계면 성질이 고려되어야 할 것이다.

그러므로, 본 연구에서는 XLPE와 SXLPE로 구성된 laminate 시편을 준비하여 먼저 직류 인가전압의 변화에 따른 계면 전하의 거동을 살펴보았다. 그리고 온도 조절이 가능한 새로운 PEA system을 이용, 여러 온도에서의 계면전하 분포도 역시 측정하였다.

2. 실험

2.1 시편 준비

Laminate 시편을 준비하는데 사용된 고분자는 XLPE와 SXLPE이다. SXLPE는 증기를 이용한 수교가 가능하도록 organosilane이 그래프트된 폴리에틸렌이다. XLPE와 SXLPE는 둘 다 국내 화학회사의 제품을 사용하였다. 그리고 XLPE/SXLPE 블렌드 (SXLPE 함량: 50 wt %)도 two-roll mill을 사용하여 120 °C에서 15분간 혼합하여 제조하였다.

* : 고려대학교 재료공학과
(서울 성북구 안암동 5-1 고려대학교,
Fax: 02-927-4546
E-mail:gorilla@mail.korea.ac.kr)

** : 고려대학교 재료금속공학부

쉬트 형태의 시편은 hot press(Carver lab. Corp.)에서 제작하였는데, XLPE와 XLPE/SXLPE 블렌드의 경우에는 130 ℃에서 성형 후 180 ℃에서 10분간 가교시켰고, SXLPE의 경우에는 130 ℃에서 성형 후 90 ℃의 증류수에서 4 시간 동안 수가교하였다.

2.2 공간전하 분포 측정

공간전하분포는 전기음향 펄스법(PEA method)을 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 두 종류의 PEA system을 사용하였다. 그 하나는 상온에서 고전압을 인가하기 위한 것으로서, 10~40 kV/mm에 해당하는 직류전압을 laminate 시편에 단계적으로 인가하였다. 각 단계에서 30분간 전압을 인가한 후 전압을 제거하고 바로 2 kV의 크기와 10 ns의 폭을 가지는 전기 펄스를 가하여 잔류 공간전하 분포를 측정하였다. 또 다른 하나는 여러 온도에서의 공간전하 분포를 측정하기 위한 것으로, 여기에서는 500 V의 크기와 5 ns의 폭을 가진 전기 펄스를 사용하였다. 실험 진행 순서는 다음과 같다. 우선 상온에서 5 kV의 전압을 30분간 인가하면서 5분마다 전압 인가 상태에서 공간전하 분포를 측정하였다. 그리고 온도를 25 ℃에서 90℃로 상승시키면서 매 5 ℃마다 5 kV의 전압 인가 상태에서 공간전하 분포를 측정하였다. 이 때 상온에서와 마찬가지로 50 ℃와 90 ℃에서도 30분간 5 kV의 전압을 인가하면서 5분마다의 전하분포를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단일층의 공간전하 분포

XLPE, SXLPE 그리고 XLPE/SXLPE 블렌드 각각의 단일층에서의 공간전하 분포를 상온에서 측정하여 그림 1에 나타내었다. 이 분포들은 전압이 제거된 직후에 측정되었다. 그림 1에 나타난 바와 같이 XLPE와 XLPE/SXLPE 블렌드에서는 이중전하가 관찰된 반면 SXLPE에서는 동중전하가 관찰되었다. 그러나 XLPE/SXLPE 블렌드에서의 이중전하의 양은 XLPE에 비하여 더 적은 것을 알 수 있다. XLPE와 XLPE/SXLPE 블렌드에서의 이중전하는 가교부 산물과 첨가제 등의 저분자량 성분에서 기인하는 것으로 알려져 있다 [3].

3.2 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포

그림 2는 인가된 전기장에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포를 보여준다. 이것 역시 그림 1의 결과와 마찬가지로 인가 전압을 제거한 직후

에 측정된 결과이다. 계면에 많은 양의 양전하가 축적된 것이 관찰되었다. Zhu 등이 보고한 바에 따르

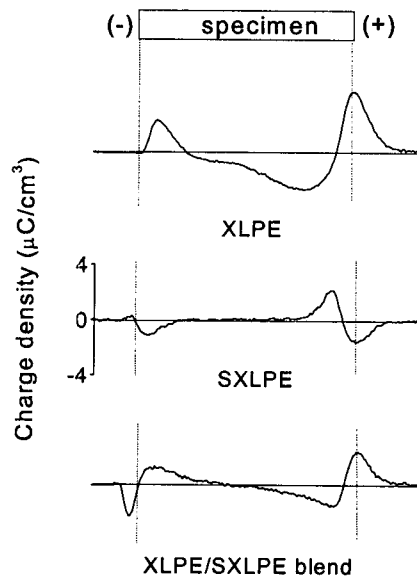


그림 1. XLPE, SXLPE, XLPE/SXLPE 블렌드의 단일층에서의 공간전하 분포 (상온, 40 kV/mm 제거 직후).

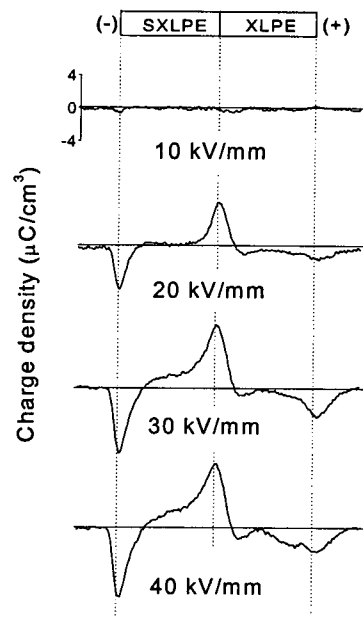


그림 2. SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포 (상온, 인가 전압 제거 직후).

면 동일한 전기장 하에서 SXLPE의 전도전류는 XLPE에 비해 1/10 정도의 크기를 갖는다. 그 이유는 SXLPE 내에 존재하는 전하 운반자가 XLPE에 비해 적거나 SXLPE 내에 존재하는 silanol group이 전하의 trapping site로 작용하기 때문인 것으로 설명하였다 [1].

위에서 언급한 두 재료의 전도전류 차이를 고려할 때 그림 2에 나타난 결과는 다음과 같이 설명될 수 있을 것이다. XLPE 부분에서 형성된 이중전하는 SXLPE의 낮은 전도전류로 인해 SXLPE 부분으로의 이동이 제한된다. 그리고 인가 전압이 증가하면서 전극으로부터 전하가 주입되게 되는데 양극으로부터 주입된 양전하는 SXLPE를 향해 이동하나 SXLPE를 통하여 음극쪽으로 움직이는 것은 제한을 받게된다. 그러므로 양전하가 SXLPE와 XLPE의 계면에 축적되는 것이라 생각할 수 있다. 음극으로부터 주입된 음전하 역시 SXLPE에서의 이동이 제한되어 음극 가까이 축적되는 것으로 생각된다.

3.3 온도 증가에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포

그림 3~그림 7에 여러 온도에서 5 kV의 전압을 인가하면서 측정된 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포를 나타내었다.

그림 3에 나타난 바와 같이 상온에서는 전압 인가 시간에 따른 전하 분포의 차이가 거의 없다.

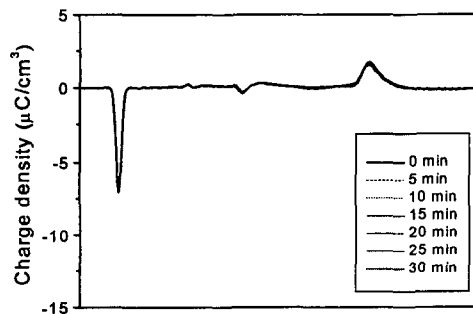


그림 3. 상온에서의 전압인가 시간에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포 (5 kV 인가 중에 측정).

그림 4는 온도가 25 °C ~ 50 °C로 증가함에 따른 전하 분포의 변화를 보여준다. 50 °C 부근에서 계면에 양전하가 나타나기 시작함을 알 수 있다. 여기서 5 kV의 전압은 8.6 kV/mm의 전기장에 해당한다. 그림 8에 여러 온도에서의 전기장에 따른 XLPE의

전류밀도를 나타내었다. 50 °C, 8.6 kV/mm에서의 값은 25 °C, 8.6 kV/mm에서의 값의 10배이고 이는 25 °C, 20 kV/mm에서의 전류밀도 값에 해당한다. 그러므로 50 °C, 8.6 kV/mm 하에서 계면에 양전하가 나타난 것은 20 kV/mm부터 양전하가 축적되기 시작한 그림 2에서의 결과와 일치한다.

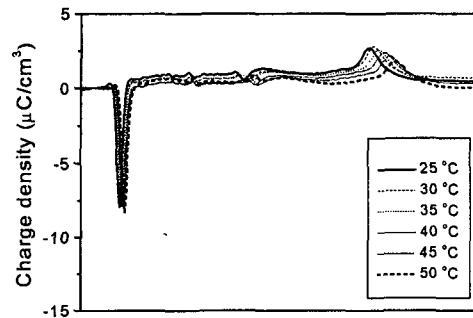


그림 4. 온도 변화에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 전하 분포 (5 kV 인가 중 측정, 25 °C ~ 50 °C).

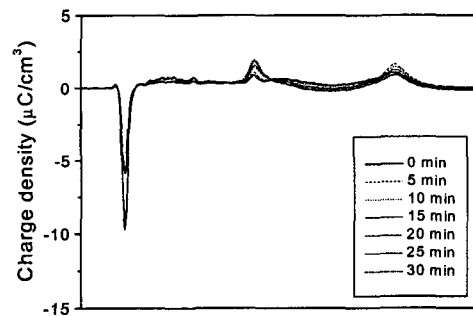


그림 5. 50 °C에서의 전압인가 시간에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포 (5 kV 인가 중 측정).

그림 5는 50 °C에서 전압인가 시간에 따라 계면전하가 증가하고 있음을 보여준다.

그림 6에서는 온도가 50 °C에서 90 °C로 증가함에 따라 계면전하 피크의 높이는 큰 변화가 없지만 양전하가 SXLPE 내부로 이동 된 것이 관찰된다. 그림 2에서 30 kV/mm부터 SXLPE 내부에 양전하가 형성되기 시작한 것으로 볼 때, 온도 증가에 따라 상온, 30 kV/mm 이상에 해당하는 저하의 이동 효과가 나타난 것으로 보인다.

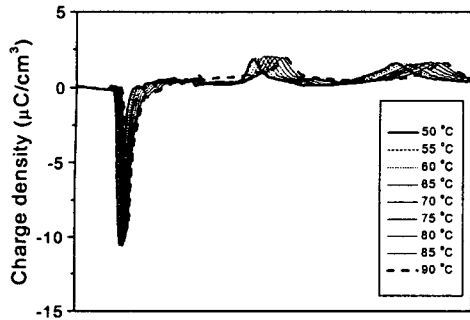


그림 6. 온도 변화에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 전하 분포 (5 kV 인가 중 측정, 50 °C ~ 90 °C).

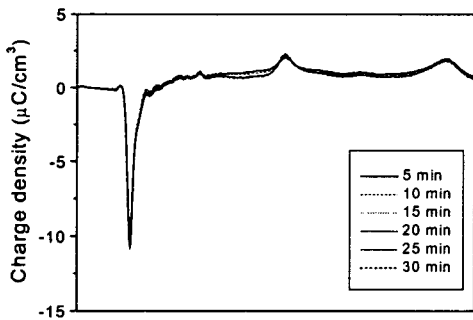


그림 7. 90 °C에서의 전압인가 시간에 따른 SXLPE /XLPE laminate의 공간전하 분포 (5 kV 인가 중 측정).

그림 7은 90 °C에서의 시간에 따른 계면전하는 50 °C에서와는 달리 증가하지 않음을 보여준다. 이는 SXLPE와 XLPE의 전하이동도가 90 °C에서는 거의 동일해졌기 때문으로 생각해볼 수 있다. 이것은 확인 실험이 필요할 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구를 통하여 SXLPE/XLPE laminate의 계면 전하 분포를 살펴본 결과, 다음과 같은 사실들을 알 수 있었다. 상온 20 kV/mm 하에서 계면에 양전하가 쌓이기 시작하며 인가전압이 증가함에 따라 SXLPE 내부로 이동함을 알 수 있었다. 그리고 온도 증가에 따른 공간전하 분포 측정 실험에서는 8.6 kV/mm의 전기장 하에서 50 °C가 되면 계면에 양전하가 나타나고 90 °C 부근이 되면 SXLPE 내로 약간의 이동

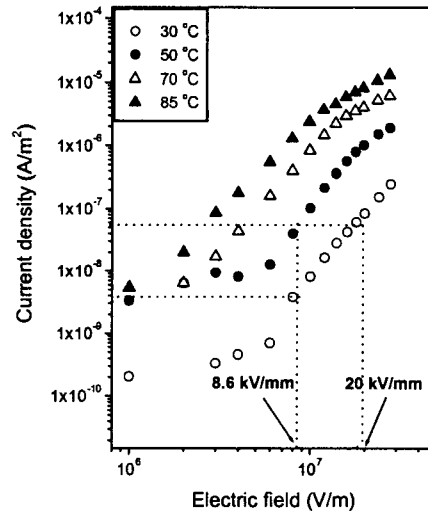


그림 8. 여러 온도에서의 전기장에 따른 XLPE의 전류밀도 [4].

이 나타났다. 이러한 결과들은 SXLPE의 전도전류가 XLPE에 비해 더 낮기 때문인 것으로 보인다. 그리고 높은 온도, 낮은 전압 하에서의 SXLPE/XLPE laminate의 계면전하 거동은 상온, 높은 전압 하에서의 거동과 유사함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Y. Zhu, H. G. Yoon, K. S. Suh, "Electrical Properties of Silane Crosslinked Polyethylene in Comparison with DCP Crosslinked Polyethylene", IEEE Trans. Dielectrics EI, Vol. 6, pp. 164-168, 1999.
- [2] J. W. Ko, K. S. Suh, Water tree growing and Electrical breakdown Characteristics of XLPE/SXLPE blends, J. KIEEME, Vol. 13, No.5, pp. 420-425, 2000.
- [3] K.S. Suh, Sun J. Hwang, J. S. Noh and T.Takada, Effects of Constituents of XLPE on the Formation of Space Charge, IEEE Trans. Dielectrics EI, Vol. 1, pp. 1077-1083, 1994.
- [4] J. W. Ko, K. S. Suh, J. E. Kim, Y. S. Nam, D. J. Kim, "Space charge Behaviors of New Insulating Materials for URD cables, Proc. Sympo. KIEEME, pp. 207-210, 1998.