

논문 15-2-4

SXLPE/XLPE laminate의 계면전하 거동

Interfacial Charge Behaviors in SXLPE/XLPE Laminates

고정우*, 남진호**, 서광석***

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

Abstract

Space charge distributions and behaviors in silane crosslinked polyethylene(SXLPE)/ crosslinked polyethylene(XLPE) laminates were investigated using a pulsed electroacoustic (PEA) method. In case of monolayer, XLPE shows heterocharge while SXLPE shows homocharge. It was observed that charges were accumulated at the interface of SXLPE/XLPE laminate when applied electric field was 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. It was found that the interfacial charge behavior of SXLPE/XLPE laminate under low voltage at high temperature is corresponding to that under high voltage at room temperature.

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

1. 서론

폴리에틸렌이나 에틸렌계 공중합체와 같은 고분자들은 전력 케이블의 절연체로 널리 사용되어져 왔다. 그리고 이러한 전기 절연분야에 있어서 블렌딩 기술은 단일 재료 사용에 있어서의 결점을 극복하기 위해서 자주 사용되어진다[1]. 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 작

고 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. 이러한 laminate 구조를 이용하여 PE와 EVA 간의 계면에서의 공간전하 거동에 관하여 연구한 결과가 보고된 바 있다 [2,3].

본 연구에서 사용된 실란가교폴리에틸렌(SXLPE)에 관한 이전의 연구 결과를 살펴보면 SXLPE와 XLPE/SXLPE 블렌드는 XLPE에 비하여 더 우수한 수트리 저항성을 지니고 더 높은 교류 절연파괴 강도를 나타내는 것으로 보고된 바 있다[4,5]. 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 이용하여 온도의 변화에 따른 계면전하 분포의 변화 또

* : 고려대학교 재료공학과
(서울특별시 성북구 안암동 5-1,
Fax: 02-927-4546 E-mail: kcjmws@hanmail.net)
** : 고려대학교 공학기술 연구소
*** : 고려대학교 세로금속공학부
2001년 10월 15일 접수, 2001년 11월 1일 1차 심사완료
2001년 12월 5일 2차 심사완료

한 측정하였다.

2. 실험

2.1 시편 준비

Laminate 시편을 준비하는데 사용된 고분자는 XLPE와 SXLPE이다. SXLPE는 증기를 이용한 수가교가 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.

Laminate 시편은 XLPE와 SXLPE를 각각 hot press(Carver lab. Corp.)를 사용하여 쉬트 형태로 압축 성형한 후 적층시켰다. 이 때, XLPE와 XLPE/SXLPE 블렌드의 경우에는 130 °C에서 성형 후 180 °C에서 10분간 가교시켰고, SXLPE의 경우에는 130 °C에서 성형 후 90 °C의 증류수에서 4 시간 동안 수가교하였다.

2.2 공간전하 분포 측정

공간전하분포는 전기유량 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 °C에서 90 °C까지 2 °C/min의 비율로 상승시키면서 매 5 °C마다 5 kV의 전압 인가 상태에서 공간전하 분포를 측정하였다. 이 때 상온에서와 마찬가지로 50 °C와 90 °C에서도 30분간 5 kV의 전압을 인가하면서 5분마다의 전하분포를 측정하였다. 그림 1에 온도조절이 가능한 PEA system에서의 측정 과정 개략도를 나타내었다.

XLPE, SXLPE 그리고 XLPE/SXLPE 블렌드 각

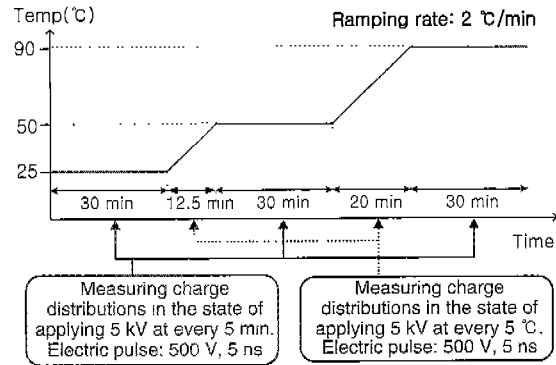


그림 1. 온도조절이 가능한 PEA system에서의 측정 과정 개략도.

Fig. 1. Scheme of measuring process in the temperature-controllable PEA system.

3. 결과 및 고찰

3.1 단일층의 공간전하 분포

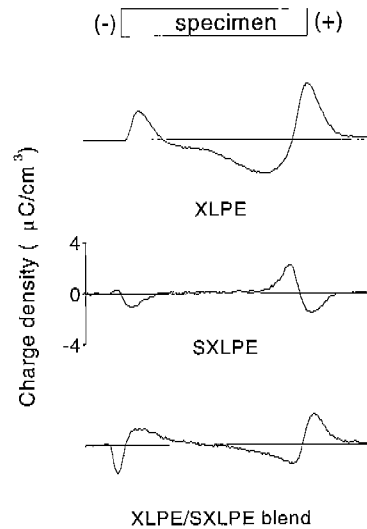


그림 2. XLPE, SXLPE, XLPE/SXLPE 블렌드의 단일층에서의 공간전하 분포(상온, 40 kV/mm 제거 직후).

Fig. 2. Space charge distributions in monolayers of XLPE, SXLPE and SXLPE/XLPE blend(at room temperature, immediately after removing 40kV/mm).

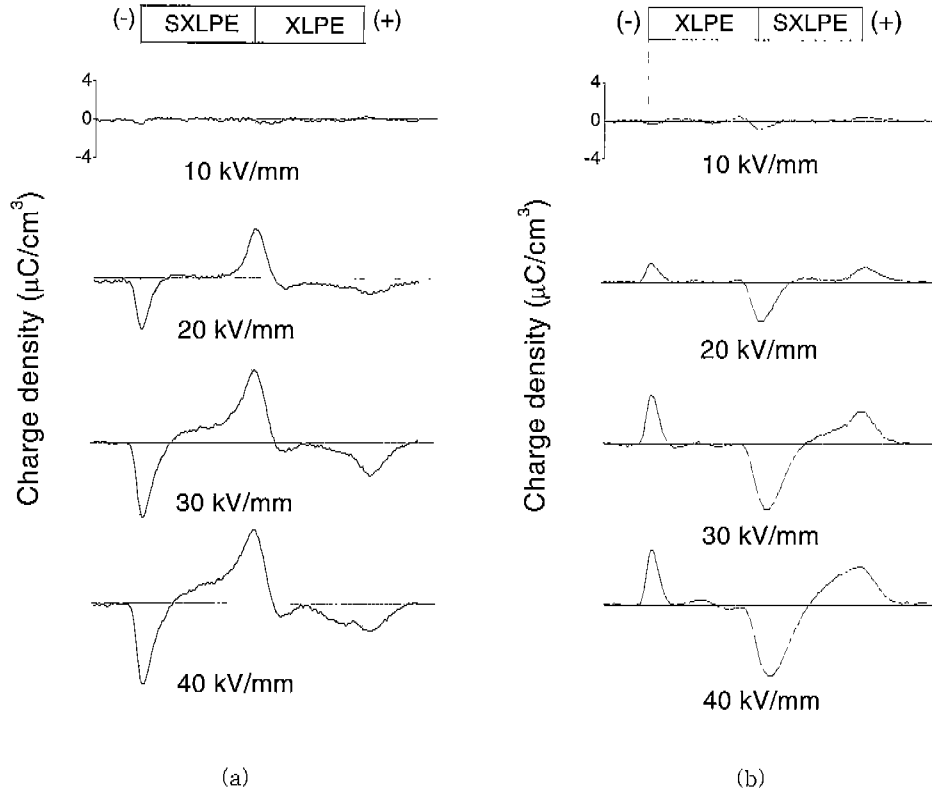


그림 3. SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포(상온, 인가 전압 제거 직후).

Fig. 3. Space charge distributions of SXLPE/XLPE laminate(at room temperature, immediately after removing the applied voltage).

각의 단일층에서의 공간전하 분포를 상온에서 측정하여 그림 2에 나타내었다. 본 결과들은 전압이 제거된 직후에 측정된 잔류 공간전하 분포이다. 그림 1에 나타난 바와 같이 XLPE와 XLPE/SXLPE 블렌드에서는 이중전하가 관찰된 반면 SXLPE에서는 등중전하가 관찰되었다. 그러나 XLPE/SXLPE 블렌드에서의 이중전하의 양은 XLPE에 비하여 더 적은 것을 알 수 있다. XLPE와 XLPE/SXLPE 블렌드에서 관찰되는 이중전하는 가교부산물과 첨가제 등의 저분자량 성분에서 기인하는 것으로 알려져 있다 [6,7].

3.2 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포

그림 3은 인가된 전기장에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포를 보여준다. 이것 역시

그림 1의 결과와 마찬가지로 인가 전압을 제거한 직후에 측정된 결과이다. (a)는 SXLPE를 음전극 쪽에 그리고 XLPE를 양전극 쪽에 위치시킨 결과이고 (b)는 그 위치를 서로 바꾸어서 측정된 결과이다. (a)의 결과에서는 계면에 많은 양의 양전하가 축적된 것이 관찰되었고 (b)에서는 (a)에서와 전하의 극성이 반대로 나타나며 그 분포 형태는 거의 유사함을 알 수 있다. Zhu 등이 보고한 바에 따르면 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[4].

위에서 언급한 두 재료의 전도전류 차이를 고려

할 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 (a)의 경우, 양극으로부터 주입된 양전하는 SXLPE를 향해 이동하나 SXLPE를 통하여 음극 쪽으로 움직이는 것은 제한을 받게 된다. 그러므로 양전하가 SXLPE와 XLPE의 계면에 축적되는 것이라 생각할 수 있다. 음극으로부터 주입된 음전하 역시 SXLPE에서의 이동이 제한되어 음극 가까이 축적되는 것으로 생각된다. (a)와 (b)의 전하분포가 그 형태나 양상은 유사하면서 그 극성만이 반대로 나타난 것으로 보아 두 재료 간의 전도전류의 차이가 계면에서의 전하 축적의 주된 원인이라 말할 수 있을 것이다.

3.3 온도 증가에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포

그림 4~그림 8에 여러 온도에서 5 kV의 전압을 인가하면서 측정된 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포를 나타내었다. 본 실험에서는 그림 3의 (a)에서와 같이 SXLPE를 음극 쪽에, XLPE를 양극 쪽에 배치하여 실험을 진행하였다.

그림 4에 나타난 바와 같이 상온에서는 전압 인가 시간에 따른 전하 분포의 차이가 거의 나타나지 않는다. 본 실험에서 5 kV의 인가전압은 8.6 kV/mm의 전기장에 해당하는데, 이는 시간에 따른 전하분포의 변화를 일으키기에는 낮은 전기장이라고 할 수 있겠다.

그림 5는 온도가 25 °C ~ 50 °C로 증가함에 따른 전하 분포의 변화를 보여준다. 50 °C 부근에서 계면에 양전하가 나타나기 시작함을 알 수 있다. 위에서 언급한 바와 같이 여기서 5 kV의 전압은 8.6 kV/mm의 전기장에 해당한다. 그럼에도 불구하고 양전하가 축적되는 것은 다음과 같이 설명될 수 있을 것이다. 그림 9에 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 3의 (a)에서의 결과와 일치하는 것으로 생각된다. 그리고 온도가 증가함에

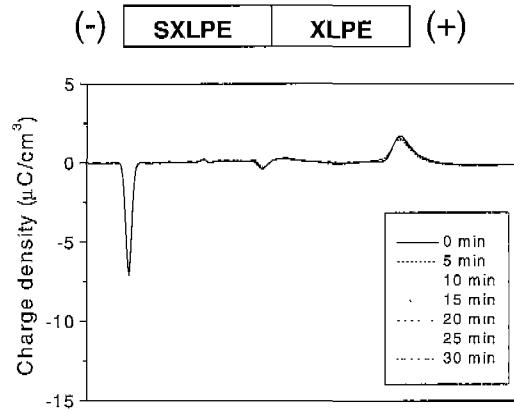


그림 4. 상온에서의 전압인가 시간에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포(5 kV 인가 중에 측정).

Fig. 4. Space charge distributions of SXLPE/XLPE laminate with applying voltage 5 kV for 30 minutes at 25 °C.

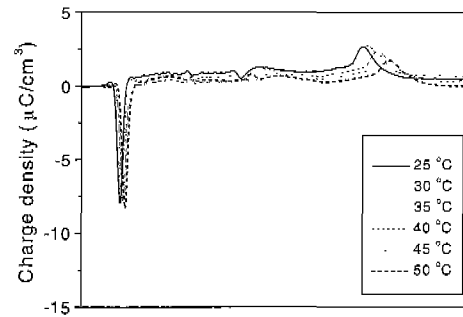


그림 5. 온도 변화에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 전하 분포(5 kV 인가 중에 측정, 25 °C ~ 50 °C).

Fig. 5. Space charge distributions of SXLPE/XLPE laminate with applying voltage 5 kV at various temperatures(25 °C ~ 50 °C).

따라 그래프가 오른쪽으로 평행 이동하였음을 알 수 있는데, 이는 온도가 올라감에 따라서 시편의 밀도가 감소하여 음향파의 전달 속도가 감소하여 압전재료로의 신호 전달이 지연되었기 때문이다.

그림 6는 50 °C에서 전압인가 시간에 따라 계면

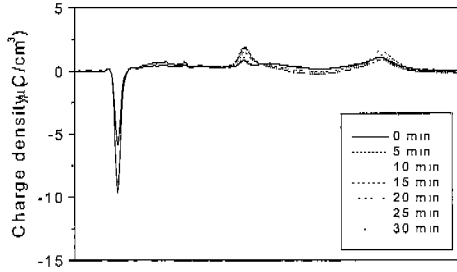


그림 6. 50 °C에서의 전압인가 시간에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포(30분간 5 kV 인가 중 측정).

Fig. 6. Space charge distributions of SXLPE/XLPE laminate with applying voltage 5 kV for 30 minutes at 50 °C.

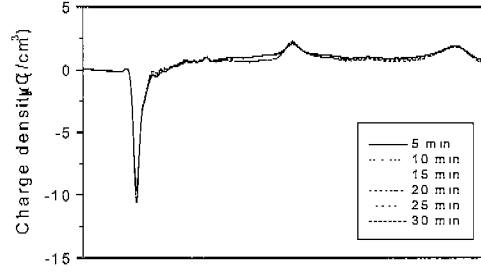


그림 8. 90 °C에서의 전압인가 시간에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 공간전하 분포(5 kV 인가 중 측정).

Fig. 8. Space charge distributions of SXLPE/XLPE laminate with applying voltage 5 kV for 30 minutes at 90 °C.

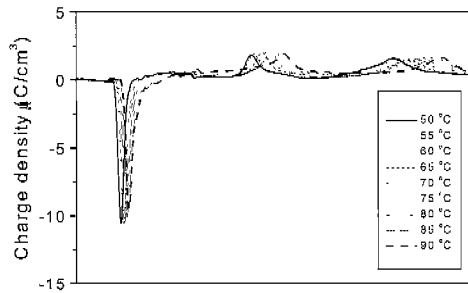


그림 7. 온도 변화에 따른 SXLPE/XLPE laminate의 전하 분포(5 kV 인가 중 측정, 50 °C ~ 90 °C).

Fig. 7. Space charge distributions of SXLPE/XLPE laminate with applying voltage 5 kV at various temperatures(50 °C ~ 90 °C).

전하가 증가하고 있음을 보여준다.

그림 7에서는 온도가 50 °C에서 90 °C로 증가함에 따라 계면전하 피크의 높이에 큰 변화가 없지만 양전하가 SXLPE 내부로 이동된 것이 관찰된다. 그림 3의 (a)에서 30 kV/mm부터 SXLPE 내부에 양전하가 형성되기 시작한 것으로 볼 때, 온도 증가에 따라 상온, 30 kV/mm 이상에 해당하는 전하의 이동 효과가 나타난 것으로 보인다. 그리고 여기에

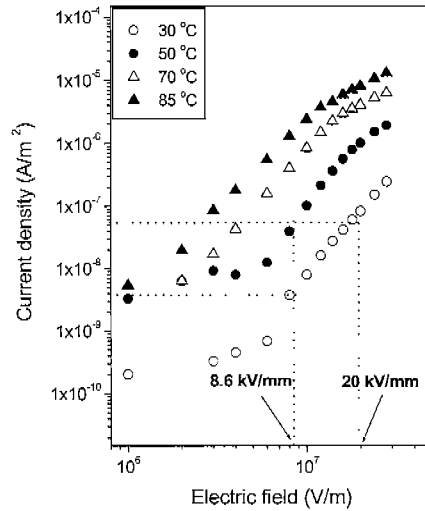


그림 9. 여러 온도에서의 전기장에 따른 XLPE의 전류밀도[7,8].

Fig. 9. Current density of XLPE as a function of electric field at various temperatures [7,8].

서도 그림 5에서의 결과와 마찬가지로 이유로 인하여 온도 증가에 따른 그래프의 평행 이동이 관찰되었다.

그림 8은 90 °C에서의 시간에 따른 계면전하는 50 °C에서와는 달리 증가하지 않음을 보여준다. 이

는 SXLPE와 XLPE의 전하이동도가 90 °C에서는 거의 동일해졌기 때문에 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 전하가 축적되기 시작하며 인가전압이 증가함에 따라 이들 전하가 SXLPE 내부로 이동함을 알 수 있었다. 인가 전압의 극성에 따라 계면에서 양전하 또는 음전하가 축적되는 것은 SXLPE의 전도전류가 XLPE에 비해 더 낮기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 온도 증가에 따른 공간전하 분포 측정 실험에서는 8.6 kV/mm의 낮은 전기장 하에서일지라도 온도가 50 °C 부근이 되면 계면에 양전하가 나타나고 90 °C 부근이 되면 SXLPE 내로 약간의 이동이 나타남을 발견하였다. 그리고 높은 온도, 낮은 전압 하에서의 SXLPE/XLPE laminate의 계면전하 거동은 상온, 높은 전압 하에서의 계면전하 거동과 유사함을 확인하였다. 이는 온도 증가에 따라 재료의 전도전류 밀도가 증가하였기 때문인 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] K. S. Suh, W. J. Oh, and S. H. Lee, "Electrical and physical properties of XLPE/EnBA blends", J. KIEEME, Vol. 11, No. 12, p. 1060, 1998.
- [2] K. S. Suh, J. Y. Kim, H. S. Noh, and C. R. Lee, "Interfacial charge in polyethylene/ethylene vinylacetate laminates", IEEE Trans. Dielectrics EI, Vol. 3, p. 758, 1996.
- [3] K. S. Suh, J. Y. Kim, C. R. Lee, and T. Takada "Charge distribution in polyethylene/ethylene vinylacetate laminates and blends", IEEE Trans. Dielectrics EI, Vol. 3, p. 201, 1996.
- [4] Y. Zhu, H. G. Yoon, and K. S. Suh, "Electrical properties of silane crosslinked polyethylene in comparison with DCP crosslinked polyethylene", IEEE Trans. Dielectrics EI, Vol. 6, p. 164, 1999.
- [5] J. W. Ko and K. S. Suh, "Water tree growing and electrical breakdown characteristics of XLPE/SXLPE blends", J. KIEEME, Vol. 13, No. 5, p. 420, 2000.
- [6] 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, p. 1077, 1994.

- [7] J. S. Cho, K. S. Suh, and K. J. Lee, "Effects of surfactant in semicon electrode on electrical conduction of XLPE", J. KIEEME, Vol. 13, No. 3, p. 227, 2000.
- [8] 고정우, 서광석, 김종은, 남윤선, 김덕주, "새로운 지중배전케이블용 절연재료의 공간전하 거동", 한국전기전자재료학회 1998추계학술논문집, p. 207, 1998.