

실란 계면 결합제 함량에 따른 XLPE/SXLPE 블렌드의 전기적 성질

Electrical properties of XLPE/SXLPE blends as a function of silane coupling agent contents

고정우, 서광석
Jung Woo Ko, Kwang S. Suh

고려대학교 재료공학과
Department of Materials Science, Korea University

Abstract

Electrical properties of Crosslinked polyethylene/silane crosslinked polyethylene (XLPE/SXLPE) blends were studied. Silane coupling agents of various contents were added to blends and their water tree and electrical breakdown characteristics were investigated. The water tree length of XLPE/SXLPE were increased by the addition of silane coupling agents except the case of SXLPE 10 % containing coupling agents of 0.5, 1.0 phr. AC breakdown strength slightly increased by the addition of coupling agents to XLPE/SXLPE blends in cases of SXLPE 20 % containing coupling agents of 2.0 phr and SXLPE 50 %. The tendency of effects on water tree and breakdown characteristics was inverse.

Key Words (중요용어) : SXLPE, Silane coupling agent, Water tree, Breakdown strength,

1. 서론

Dicumyl peroxide (DCP)를 사용해 가교된 가교폴리에틸렌 (XLPE)은 높은 절연파괴 강도, 우수한 가공성 등으로 인해 전력 케이블의 절연체로 널리 사용되고 있다. 하지만 DCP를 이용한 가교는 그 과정 중에 여러 가교 부산물들이 생성되고, 이것이 재료의 전기적 성질에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 이러한 문제의 해결을 위해 유기 반응기를 지닌 실란(silane)을 이용해 폴리에틸렌을 가교하는 기술이 1960년대 후반에 Dow Corning사에 의해 개발되었고, 1970년대 초반부터 가교폴리에틸렌 파이프와 전력 케이블 제작에 적용되어왔으며 현재는 유럽 등지에서 전력 케이블의 절연층으로 사용되고 있다.

XLPE와 SXLPE의 전기적 성질을 비교 평가한 결과, SXLPE가 XLPE에 비하여 수트리에 대한 저항성, 절연파괴강도 등에서 우수한 특성을 나타낸 것으로 발표된 바 있다.²⁾ 그러나 SXLPE는 그 자체로는 우리나라의 전력 케이블

에 바로 적용하기 어렵고 또한 XLPE에 비하여 가교도가 떨어지는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 XLPE와 SXLPE를 혼합하여 XLPE의 절연성능 향상을 확인하고자 하였으며 또한 블렌드물에 실란 계면 결합제를 첨가하여 그에 따른 수트리 특성 및 교류절연파괴 특성의 변화를 알아보려고 하였다.

2. 실험

2.1 시료 제작

본 연구에서 사용한 폴리에틸렌은 국내 화학회사의 LDPE로 밀도는 0.922 g/cm^3 , 용융지수는 1.8 g/min 이다. SXLPE 역시 동일회사로부터 공급받은 것이다. 이 SXLPE는 Dow Corning사의 SIOPLAS 공정으로 제조된 것으로 VT MOS (vinyl trimethoxy silane)을 폴리에틸렌에 그라프트시켜 만들었다. 블렌드물에 첨가된 실란 계면 결합제는 Dow Corning사 제품으로 SXLPE에 그라프트된 VT MOS를 사용하였다. 그림 1에 SIOPLAS 공정과 그라프트머의 구조를 나타내었

다. 블렌드의 제조는 이축압출기 (twin screw extruder)를 사용하였는데, 배럴의 온도는 160-170-190-180°C로 하였고 압출속도는 5 rpm

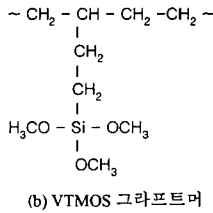
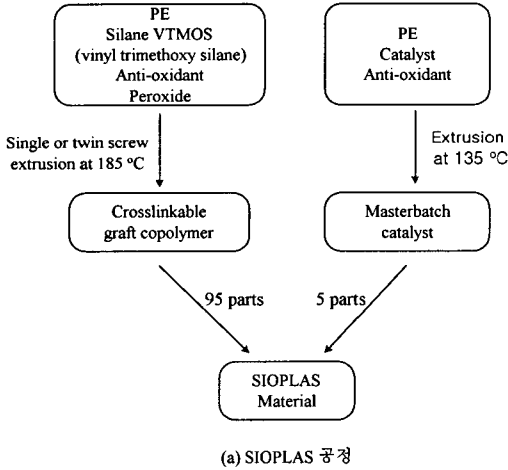


그림 1. SIOPLAS 공정 및 VTMOs 그래프트머.

으로 하였다. 가교제인 DCP와 다른 첨가제는 압출된 블렌드물을 Henschel mixer에 넣고 70°C에서 10분간 혼합하여 함침시켰다. 기준시료인 XLPE는 원재료인 LDPE에 DCP 및 첨가제를 동일 조건에서 함침시켜 기준 시료로 사용하였다. SXLPE의 함량은 10, 20, 50 %로 변화시켜 3종의 시료를 만들었고, 각 시료에 대하여 실란 계면 결합제를 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 phr로 함량을 달리하여 첨가하였다.

2.2 수트리 시험

각 시료의 수트리 길이는 본 연구실에서 제작된 수트리 측정장치를 사용하였는데, 이 실험을 위한 시료형태가 그림 1에 나와 있다. 그림에서 보듯이, 시편은 곡률반경이 5 μm인 바늘 (일본 Okura사 제품)을 사용하여 hot press에서 제작

하였는데, 압축성형하며 180°C에서 10분간 열가교시켰다.

제작된 시편들을 수트리 발생장치에 넣고 백금선을 통해 10 kV, 60 Hz의 교류 전압을 96시간 동안 가하였다. 수전극으로 AgNO₃ 수용액

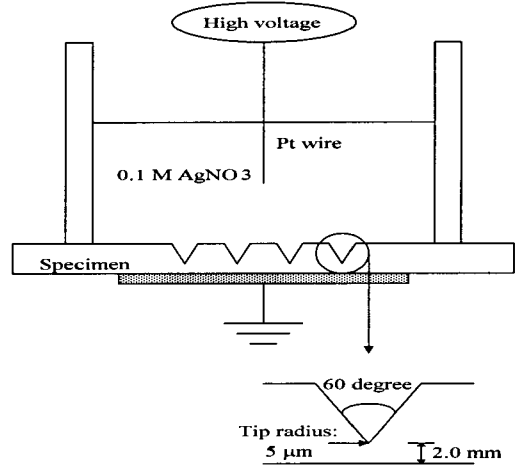


그림 2. 수트리 시험 시편

을 사용하였고,³⁾ 수트리 길이는 100배율의 광학현미경을 이용해 측정하였으며 8개 바늘에서 생성된 수트리 길이의 평균값을 택하였다.

2.3 절연 파괴 시험

절연파괴 시험은 hot press를 이용하여 70~100 μm 두께의 필름시편을 제작한 후 지름 6.4 mm인 구전극을 사용하여 절연유 속에서 실시하였다. 절연파괴 특성은 10개의 시편을 이용하여 얻은 결과를 Weibull 통계법으로 처리하여 나타내었다.^{4, 5)}

3. 결과 및 고찰

3.1 수트리 특성

그림 3에 SXLPE 함량에 따른 XLPE/SXLPE 블렌드의 수트리 길이를 나타내었다. 별도의 수가교 과정을 거치지 않고 열가교만을 시키고 수트리 실험을 수행하였다. 수가교 과정이 수트리 특성에 좋지 못한 영향을 끼치고 열가교만으로도 충분한 가교도가 확보된다는 결과가 발표된 바 있다.⁶⁾ 그림에 나타난 바와 같이 열가교만을

하였을 경우에는 SXLPE 함량이 증가함에 따라 수트리 길이가 상당히 감소함을 알 수 있다.

이번에는 계면 결합제의 첨가를 통한 수트리 특성의 향상 여부를 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 각 블렌드물 중 SXLPE 함량이 10, 20, 50 %인것을 선택하여 실란 계면 결합제를 각각 0.5 - 5.0phr 첨가하여 그 영향을 알아보았다.

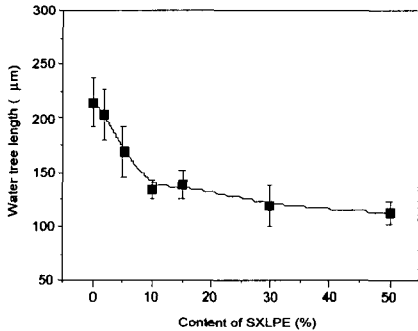


그림 3. SXLPE 함량에 따른 XLPE/SXLPE 블렌드의 수트리 길이

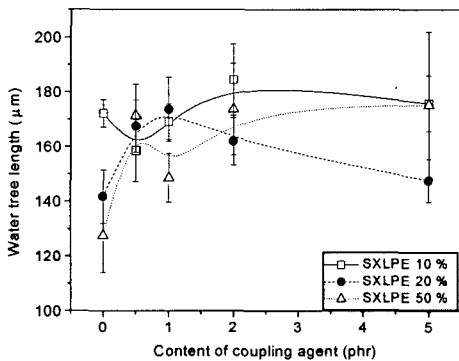


그림 4. 실란 계면 결합제 함량에 따른 XLPE/SXLPE 블렌드의 수트리 길이

이에 대한 결과가 그림 4에 나와 있다. 그림에 나타난 바와 같이 SXLPE 함량이 10 %인 경우에는 계면 결합제가 0.5, 1.0 phr 첨가되면 수트리 길이가 약간 감소하였다가 그 함량이 증가하면서 다시 수트리 특성이 저하하는 것을 알 수 있다. 또한 SXLPE 함량이 20, 50 %인 경우에는 계면 결합제 전 함량에 대해서 첨가 전보다 수트리 길이가 증가하였음을 알 수 있다. 특히

SXLPE 함량이 50 %일 때는 계면 결합제 첨가로 인한 수트리 길이의 증가율이 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 첨가된 계면 결합제는 결합 효과를 나타내기보다는 오히려 불순물로서 작용한 것임을 알 수 있다. SXLPE 함량이 10 %인 블렌드물에 0.5 phr을 첨가한 경우는 블렌드물 내의 기존 실란 양이 적었으므로 다소나마 그 효과가 나타난 것으로 생각된다.

3.2 XLPE/SXLPE 블렌드의 절연파괴 특성

표 1. 실란 계면 결합제의 함량에 따른 XLPE/SXLPE 블렌드의 절연파괴 특성. (unit: kV/mm)

Sample		Weibull parameter			
		β	E_0 (P = 0 %)	E_{avg}	θ (P = 63.2 %)
SXLPE 10 %	0 phr	2.14	116.0	165.5	172.9
	0.5	3.11	114.4	150.5	154.8
	1.0	2.23	114.4	158.2	164.2
	2.0	2.31	96.2	133.3	138.6
	5.0	2.93	101.0	139.5	144.4
SXLPE 20 %	0 phr	2.32	118.8	175.6	183.8
	0.5	2.32	99.7	145.1	151.5
	1.0	2.37	113.9	170.6	178.7
	2.0	2.27	133.6	180.5	187.5
	5.0	2.71	125.3	162.5	167.3
SXLPE 50 %	0 phr	2.88	115.5	152.1	156.7
	0.5	3.17	124.0	156.6	160.2
	1.0	2.77	123.2	157.8	162.1
	2.0	2.96	122.3	167.7	173.3
	5.0	3.17	134.1	169.4	173.2
XLPE		2.56	109.1	148.8	156.1

실란 계면 결합제를 첨가한 XLPE/SXLPE 블렌드의 교류 절연파괴 특성에 대한 결과를 표 1에 정리하였다. 그리고 그림 5에 계면 결합제 함량에 따른 특성 파괴 값을 나타내었다.

SXLPE 10 %의 경우는 계면 결합제 함량 증가에 따라 절연파괴 강도가 감소하는 경향을 보였고, 20 %의 경우는 2.0 phr 첨가한 경우에만 절연파괴 강도가 향상된 결과를 보였다. 그리고 SXLPE 함량이 50 %일 때는 10 %의 경우와 반대로 계면 결합제 함량 증가에 따라 절연파괴 강도가 증가한 것으로 나타났다. 수트리 결과에 서와는 달리 절연파괴 강도에 있어서 계면 결합제는 SXLPE 함량이 높을 때 향상효과를 나타냄을 알 수 있다.

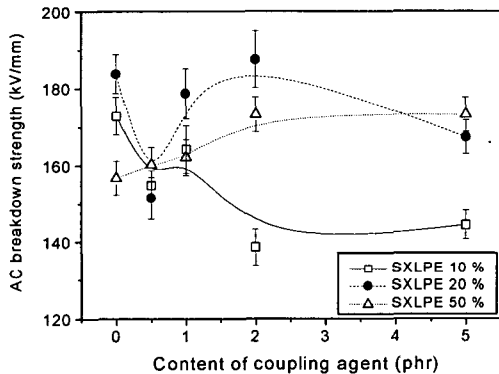


그림 5. 실란 계면 결합제 함량에 따른 XLPE/SXLPE 블렌드의 특성 절연파괴 강도.

4. 결론

본 연구를 통하여 XLPE/SXLPE 블렌드의 실란 계면 결합제 함량에 따른 수트리 및 절연파괴 특성을 살펴본 결과, 수트리 특성은 SXLPE 10 %에 계면 결합제 0.5, 1.0 phr을 첨가하는 경우를 제외하고는 첨가 전보다 저하되는 것으로 나타났다. 교류 절연파괴 특성의 경우는 SXLPE 10 %일 때는 계면 결합제 첨가 시 특성 저하가 나타났고 SXLPE 50 %일 때는 첨가 함량 증가에 따라 특성의 향상이 관찰되었다. 그리고 실란 계면 결합제가 수트리와 절연파괴 특성에 미치는 영향은 반대되는 경향을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 종합적인 면에서는 실란 계면 결합제 첨가를 통한 전반적인 절연 성능의 향상은 어려울 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] K. S. Suh, S. 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.
- [2] K. S. Suh, Y. Zhu, H. G. Yoon, "Electrical Properties of Silane Crosslinked Polyethylene in Comparison with DCP Crosslinked Polyethylene", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 6, pp. 164-168, 1999.
- [3] Z. H. Fan and N. Yoshimura, "Silver Tree", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 3, pp. 131-135, 1996.
- [4] M. Cacciari, G. C. Montanari and J. C. Fothergill, "Estimating the Cumulative Probability of Failure Data Points to be Plotted on Weibull and other Probability Paper", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 26, pp. 1224-1229, 1991.
- [5] F. Donazzi, G. Luoni and C. Laurent, "Weibull Statistics in Short-term Dielectric Breakdown of Thin Polyethylene Films", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, pp. 163, 1994.
- [6] 고정우, 서광석, "XLPE/SXLPE 블렌드의 수트리 성장 및 절연파괴 특성", 한국전기전자재료학회 추계학술대회, 55-58 1999.