

반도전내의 첨가제 함량에 따른 XLPE의 전기적 성질

Electrical properties of XLPE as contents of additive in semicon

조준상 고려대학교 재료공학과
서광석 고려대학교 재료공학과
변재동 고려대학교 재료공학과
이건주 LG전선절연재료기술그룹

Joon S. Cho Department material science, Korea university
Kwang S. Suh Department material science, Korea university
Jae D. Byun Department material science, Korea university
Gun J. Lee R & D center, LG cable

Abstract

Effects of types of semicon compounds on electrical properties of XLPE were investigated. The amounts of charge of XLPE were changed with the contents of additive included in semicon electrodes, but homocharge in cathode was observed. In the aging experiment under high voltage, it was found that semiconductive layer with high impurity contents played an important role in the decrease of ACBD strength of XLPE.

Key Words(중요 용어) : Semicon, XLPE, homocharge, ACBD strength

1. 서론

지중배전 케이블의 열화현상에 대한 연구는 주로 열화진단연구와 재료개발연구로 나눌 수 있다. 그중 재료개발연구의 경우에는 전력케이블의 절연층으로 사용되는 저밀도폴리에틸렌 (low density polyethylene, LDPE)이나 가교폴리에틸렌 (crosslinked polyethylene, XLPE)에만 연구가 편중되어 절연층의 성능을 개선하는 방향의 연구가 주류를 이루고 있으므로 상대적으로 반도체 재료에 대한 연구는 소홀히 여겨져 왔다. 현재까지 이루어진 반도체의 주된 개선방향은 절연층과 반도체층의 계면에 존재하여 국부적인 전기장을 걸리게 하는 돌기물 (protrusion)을 없애는 방향으로 진행되었다. 반도체 재료는 올레핀 (olefin)계 고분자와 카본블랙의 복합재료이기 때문에 카본블랙의 분산이 좋지 않은 경우 카본블랙이 뭉쳐 있다가 압출시 절연층과 반도체층 사이에 돌기물로 존재하게 된다. 이러한 돌기물이 있는 곳에 전압이 가해지면 다른 부분보다 높은 전기장이 걸리기 때문에 국부적인 절연파괴가 일어나서 결국은 절연파괴로 이어진다. 따라서 지금까지의 반도체재료에 대한 개선은 이러한 돌기물을 제거하는 방향으로 이루어져 왔으며 많은 연구의 결과로 현재 이러한 돌기를 상당량 없앨 수 있는 기술이 축적되어 있다고 할 수 있다. 최근에는 전력

케이블의 전압이 점차 증가하고 있어 초고압(extra high voltage, EHV) XLPE 전력케이블의 생산에서 절연층의 두께를 줄일수 있는 방안이 연구되고 있다. 일본의 Okamoto 등은 이런 노력의 일환으로 반도체전킴파운드에 glyceride ester를 넣어 소위 "interface diffusion layer"를 형성시킴으로서 절연파괴강도를 약 30% 정도 향상시켰다고 발표하였으며¹⁾, 중국의 Gao 등이 기존에 사용되고 있는 반도체재료에 아이오노머 (ionomer) 또는 계면결합제를 첨가하여 절연파괴강도를 약 40% 이상 증가시키고 또한 트리개시전압 (tree initiation voltage)도 40%까지 증가시켰다는 연구결과를 발표하였다²⁾. 본 연구의 목적도 첨가제로 반도체전킴파운드를 개질 시킴으로서 전선의 절연성능을 향상시킬 수 있는 방안을 연구하는 것이다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 반도체는 국내 전력케이블용 반도체와 아래 표 1과 같은 조성을 기본으로 하여 첨가제와 같이 혼련을 하였다³⁾. 국내 전력케이블용 반도체인 A와 B의 경우 ICP를 이용한 불순물의 농도를 분석한 결과 그 농도에 큰 차이가 있었다⁴⁾. 반도체의 제작은 고분자수지를 혼합한 후 여기에 카본블랙, 기타 첨가제 등을 투입하여 batch type kneader에서 120℃, 10분간 혼련하고, 다시 roll

mill에서 10분간 블렌딩을 하여 제조하였다.

표 1. 반도체 컴파운드의 조성표

component	content	
	phr	wt%
EVA	100	59.1
Carbon black	60	35.5
기타 첨가제	9.2	5.4

본 연구에 사용한 기본수지로는 Dupont-Mitsui Petrochemical 사의 비닐아세테이트 함량이 33 % 인 EVA(MI=14 g/10min)을 사용하였으며, 카본블랙의 경우는 Vulcan XC-72, Cabot 사의 제품을 이용하였다. 전하분포의 측정에 사용된 반도체는 130°C에서 압축성형하여 180°C에서 가교하였다. 또한 가교폴리에틸렌은 국내석유화학회사 제품으로 밀도는 0.920 g/cm³이고 비유전율은 2.3으로 130°C에서 압축성형하여 180°C에서 10분간 가교시켜 사용하였다. 공간전하 분포 측정에서는 반도체내에 첨가제에 의한 영향을 알아보기 위하여 XLPE는 모두 진공처리를 하였다. 따라서 진공처리한 XLPE에 진

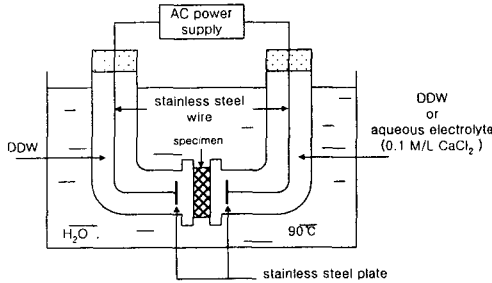


그림 1. 절연파괴강도 실험 장치

공처리를 한 반도체과 하지 않은 반도체를 전극으로 사용하여 실험을 하였다. 이때 진공처리 조건은 80°C 진공오븐내에서 100시간동안 시행하였다. 전하분포는 Pulsed Electroacoustic (PEA) 방법을 사용하여 측정하였으며 이에 대한 원리는 기존에 발표된 바 있다⁴⁾ 시편에 전압을 10 kV/mm에서 40 kV/mm까지 5 kV/mm 간격으로 30분 동안 가하였다. 단계적으로 전압을 가한 후 각각 단계에서 형성된 잔류전하를 폭이 10 ns이고 크기가 2 kV인 전기펄스를 가하여 측정하였다.

절연파괴실험은 그림 1에 나와 있는 것처럼 'L'자관과 접합되는 부분에는 두께가 6mm 정도를 가지게 하고 중앙에는 실험에 필요한 두께를 위해범위가 대략 60 -300 μm를 갖도록 하여 인가하는 전압

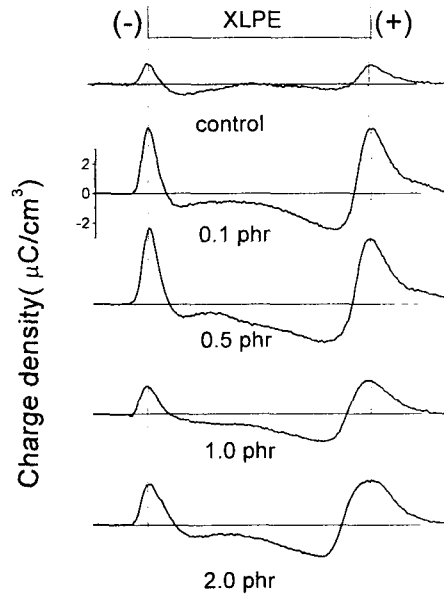


그림 2. 진공처리하지 않은 반도체에 의한 공간 전하 분포 (40 kV/mm)

의 대부분이 중앙부분에만 인가되도록 하였다. 그리고 이 두부분의 연결부위는 전계집중을 막기위해 원형의 모서리를 갖도록 하였다. 이렇게 만들어진 XLPE와 반도체 layer를 다시 hot-press를 이용하여 다시 130°C에서 5분간 접합시키고 가압한 후 180°C에서 10분간 가교시키고 수냉하여 반도체가 다른 두 종류의 시편을 제작하였다. 또한 이온성 불순물의 절연파괴측정용 시편은 위와 동일한 시편을 제작하여 한쪽에는 이온성 불순물이 들어있는 수용액 다른 한 쪽에는 탈이온증류수 (deionized distilled water, DDW)를 넣어서 U자관을 제작하여 동일한 방법으로 실험을 하였다. 전압을 인가시 준비된 test cell을 90°C의 항온조에 설치하였고 다음 전극에 시편과의 간격을 1.5cm로 조절하였고, 양쪽 전극에 2 kV의 일정한 전압을 일정기간 (120 h)하여

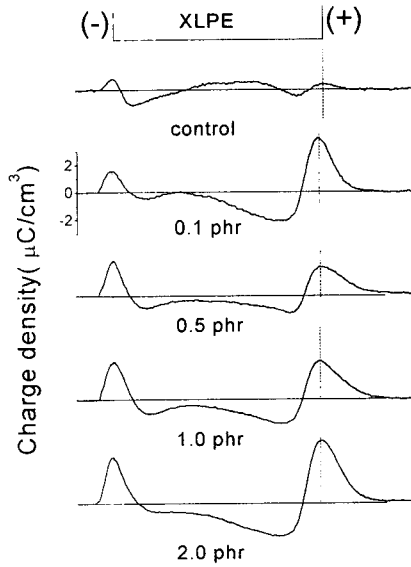


그림 3. 진공처리한 반도체에 의한 공간전하 분포도(40 kV/mm)

aging시킨 후, 절연파괴가 발생할때까지 일정한 시간 간격으로 전압을 승압시켰다. 이때 승압 속도는 1 kV/s 이었으며, 전압인가 중에는 시편이 파괴로 나타나는 절연파괴전압을 측정하여 절연파괴 강도 보환산하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 진공처리하지 않은 반도체에 의한 XLPE의 전하분포 특성

그림 2는 40 kV의 전압을 가했을 때 반도체의 첨가제 함량에 따른 진공처리 하지 않은 반도체를 사용하였을 때 공간전하 분포를 나타낸 것이다. 그림에 나타나듯이 모두 음극에서 동종전하 성향을 나타내고 있고 첨가제의 양이 0.5 phr인 경우가 가장 많은 공간 전하를 가지고 있다.

3.2. 진공처리한 반도체에 의한 XLPE의 전하분포 측정

그림 3은 그림 2와 같이 40 kV/mm를 가했을 때 진공처리를 한 반도체의 첨가제 함량에 따른 전하 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 control의

경우 시료 내부에 양전하가 쌓이지만 첨가제 함량이 증가할수록 음전하로 바뀌게 된다. 이것은 첨가제가 음전극에서의 음전하 주입을 쉽게 하도록 도와주는 것으로 보인다. 또 그림 4는 양 전극의 끝부분에 축적되어 있는 전하량을 cathode/anode의 비로 계산 한 것이다. 이때 알 수 있듯이 0.5 phr의 경우 음전극과 양전극의 축적된 전하의 양이 거의 비슷하게 형성되어 있음을 알 수 있다. 그림 5에서 보듯이 진공처리하지 않을 경우 가교 부산물에 의해 이종전하가 생기게 되는데, 이와 첨가제를 넣어서 생기는 동종전하의 경향이 서로 경쟁적으로 작용하여 진공처리한 반도체의 경우가 더 많은 전하량을 가지는 것으로 보인다.

3.3. 절연파괴강도 실험

그림 6은 반도체재료 A와 B를 사용한 시편에서 120 h 동안 aging 하기 전과 한 후의 절연 파괴 강도를 비교한 것이다. 반도체 재료 B의 aging 한 후의 절연파괴 강도가 낮음을 알 수 있다. 그림 7은 반도체 재료 A와 B를 사용한 시편에서 240 h 동안 aging 전과 후에 절연파괴 강도는 반도체 재료 B가 현저히 감소하였음을 알 수 있다. 반도체 재료 A를 사용한 시편의 경우에는 B를 사용하였을 때보다 aging 전후로 절연파괴 강도의 차이가 적었다. 그리고 이온의 종류에 따른 절연파괴강도를 그림 8에 나타내었는데, 이온가를 보면 +1가와 +2가에 따라 절연 파괴 강도가 달라짐을 알 수 있다. 즉, 이온화 경향이 클수록 절연파괴강도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

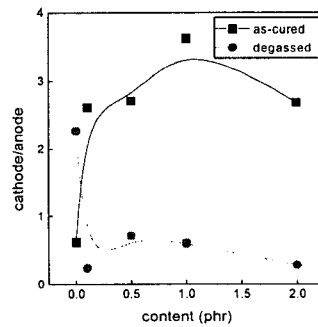


그림 4. 양전극과 음전극의 전하량 비

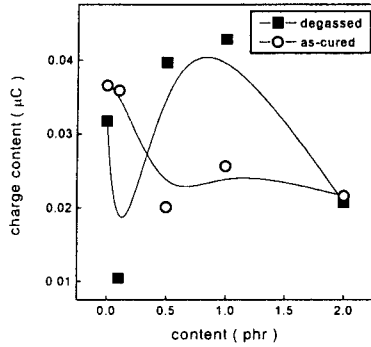


그림 5. 음전극의 전하량 비교

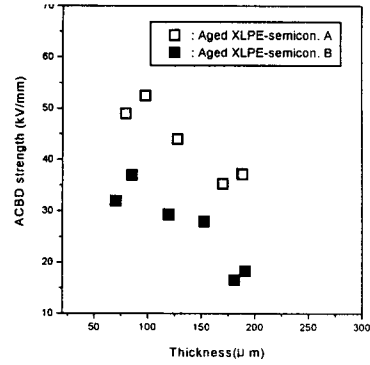


그림 7. 240 h동안 aging하기 전과 한 후의 절연파괴강도

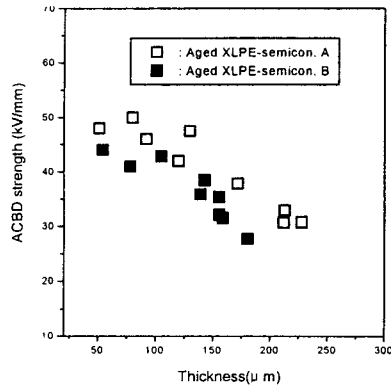


그림 6. 120 h동안 aging 하기 전과 한 후의 절연파괴강도

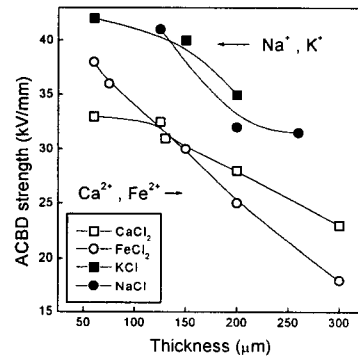


그림 8. 이온종류에 따른 절연파괴 강도

4. 결 론

위에 결과에서 보듯이 이번 실험에서 사용된 첨가제에 의한 공간전하형성의 특징은 첨가제가 음전극쪽의 전하 주입을 용이하게 하고 이에 따라 개질된 반도체로 공간전하축정을 한 XLPE의 경우 시료 전체 내에 음전하가 축적되는 것을 알 수 있다. 그리고, 절연파괴 실험에서 알 수 있듯이 반도체층 내의 불순물의 농도가 다른 두 개의 반도체를 이용하여 aging을 시켰을 경우 또는, 이온성 불순물의 이온화 경향에 따라 이온 농도가 높을수록, 그리고 이온화 경향이 클수록 절연파괴 강도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 LG 전선의 연구비 지원으로 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Okamoto et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 24, pp. 599-607, 1989
2. L. Gao et al., *IWEI*, pp. 369-372, 1993
3. J. H. Han, PhD Thesis, University of Korea, Korea, 1996.
4. J. B. Yoon et al., *ICPADM*, pp. 190-193, 1997
5. Y. Li et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, 188-195, 1994.