

## 이온성 불순물과 폴리에틸렌의 절연파괴특성

### Ionic Impurities and Dielectric Breakdown of XLPE

윤종복 고려대학교 공대 재료공학과  
서광석 고려대학교 공대 재료공학과  
변재동 고려대학교 공대 재료공학과  
한재홍 전력연구원 전력계통연구실  
김상준 전력연구원 전력계통연구실

Jong Bok Yoon Dept. of Materials Eng., Korea University  
Kwang S. Suh Dept. of Materials Eng., Korea University  
Jae Dong Byun Dept. of Materials Eng., Korea University  
Jae Hong Han Advanced Distribution Group, KEPRI  
Sang Joon Kim Advanced Distribution Group, KEPRI

#### Abstract

Effects of ionic impurities on the dielectric breakdown of the crosslinked polyethylene (XLPE) were studied using aqueous electrolytes. It was found that the AC breakdown strength of XLPE decreases considerably when the ions are present in the electrodes composed of aqueous electrolyte. Details of results were described.

#### 1. 서론

가교폴리에틸렌 (XLPE)-지중배전선용 전력 케이블은 수트리 degradation에 의해 악영향을 받는다. 수분과 전압의 복합적인 영향에 의한 조기전압파괴이다. 수트리 성장의 많은 이유는 절연층으로의 이온 불순물의 투과가 전력케이블의 수트리 성장을 촉진시키고 임펄스 절연파괴강도를 저하시킨다.<sup>1,2)</sup>

정량적인 분석을 통해 다양한 금속성 불순물은 Ca, K, Na, Fe, 와 Cu은 전력 케이블의 반도체 층과 절연층에 존재하는 것으로 알고 있다. 이런 불순물들은 반도체층으로 부터 확산되거나 지중수유입에 따라 투과되어 들어오게 된다.

불순물 생성경로에 따르면, 이러한 불순물들은 전력 케이블의 수트리 특성과 절연파괴강도에 영향을 미치게 된다. 그들은 절연층의 자동산화반응을 촉진시키며 이

결과로써 고분자 사슬의 절단과 절연재료의 계속된 산화반응이 진행된다. 이런 종류의 열화는 shield와 절연층의 계면층에서 주된 열화반응이다. 이 산화반응은 이온성 불순물이 있을 경우 절연층에서 일어나게 된다. 이온성 불순물들에 의한 손상의 정도에 차이점이 생기는데 이것은 여러 가지 이온들이 전기장하에서 움직임이 다르기 때문이다.

그러므로, 본 연구에서는 XLPE의 AC 절연파괴현상에 미치는 이온성 불순물의 영향을 연구하였다.

#### 2. 실험방법

본 연구에서 사용한 가교 폴리에틸렌은 180°C에서 20분간 가교 시킨 XLPE이다. 원재료는 한양 화학에서 공급받았는데 XLPE은 특고압 전력 케이블의 절연재료

로 쓰인다.

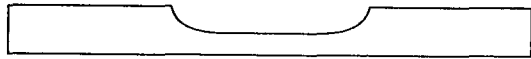


그림 1. 본 연구에 사용되는 Concave 시편.

시편에서 모서리 부분의 전기장의 집중을 막기 위해 둥근 모서리를 갖은 시편이 그림 1에 나와 있다. 실험적인 확증을 통해 그림 1과 같은 시편은 모든 절연파괴가 시편의 중앙에서만 일어나도록 하기위해 만들었다

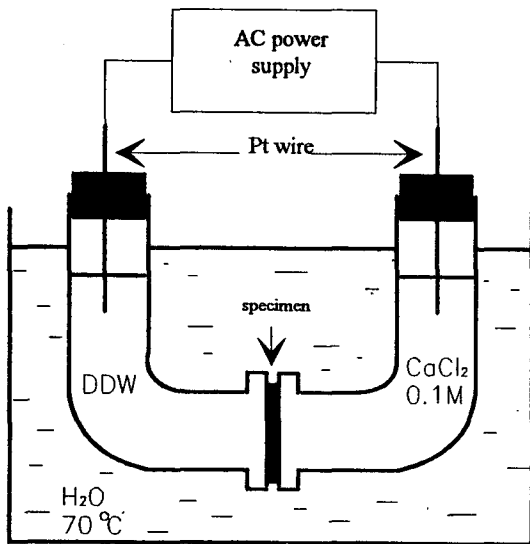


그림 2. 교류전압 절연파괴용 Test cell의 개략도.

절연파괴용 시험장치는 이온성 불순물 영향을 연구하기 위해 실험실에서 자체 제작하였다. 시험장치의 개략도가 그림 2에 나와 있다. 이 시험장치는 고분자 필름의 이온 이행성을 연구하고자 제작되었던 것이다.<sup>3)</sup>

이 시험셀은 두 개의 "U"자 형태의 유리관에 고무링을 결합부위에 대고 그 사이에 시편을 삽입한 후 외부에서 금속판과 나사를 이용하여 단단히 고정하였다. 또한 결합부위를 통한 물의 유입을 방지하기 위해 방수 실리콘 접착제를 사용하여 주위를 밀봉하였다.

두 유리관에는 한 쪽에는 이온성 불순물의 양을 조절할 수 있는 수용액을 채우고 다른 쪽에는 탈이온 증류수를 채워서 실험하였다. 한 쪽의 유리관에만 전압을 인가하고 한쪽은 접지를 시켰다. 모든 절연파괴시험은 70°C인 항온조에서 실험하였다.

### 3. 결과

그림 3은 시편의 두께에 따른 교류전압 절연파괴강도를 보여준다. 이러한 측정은 둥근 모서리를 갖은 시편을 이용하였다. 그림에서 보듯이 탈이온 증류수를 전극으로 사용한 것이 0.1M CaCl<sub>2</sub> 수용액을 전극으로 사용한 것보다 교류 절연파괴강도가 높음을 알 수 있다.

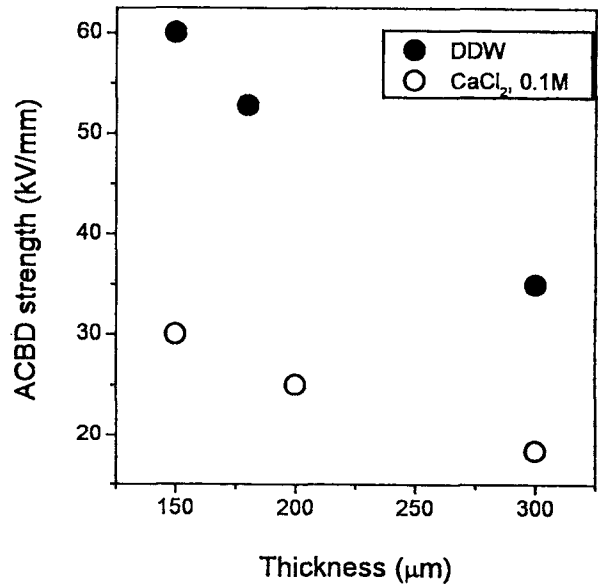


그림 3. 시편 두께에 따른 XLPE의 교류전압 절연파괴강도.

그림 4는 필름 시편과 둥근 모서리를 갖은 시편에 의한 결과를 비교한 것이다. ▲로 표시되는 결과는 필름 시편에서 시편의 중앙 부분이 아니라 결합부위에서 일어난 것이다. 따라서 필름 시편의 중앙에서 일어나면 필름 시편의 절연파괴강도와 둥근 모서리를 갖은 시편의 절연파괴강도가 비슷함을 알 수 있다. 그림에서 보듯이 절연파괴가 결합부위에 가까운 부위에서 일어나면, 파괴강도가 낮아짐을 알 수 있다.

그림 5는 시편 두께에 따른 4 kV에서 파괴가 일어나는 시간을 나타낸다. 예상해 보면, 파괴가 일어나는 시간은 시편 두께가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다.

이러한 결과들은 이온들이 절연층으로 유입된다면 교류전압 절연파괴강도가 낮아짐을 예측할 수 있다. 그러나 본 연구는 수전극을 이용하였기 때문에 실제 케이ابل과 같이 반도전이 존재 할 때는 현재의 결과가 적용되는지가 문제이다. 이런 관점에서 본다면 반도전에 존재하는 이온성 불순물이 절연층으로 투과되거나 확산되어

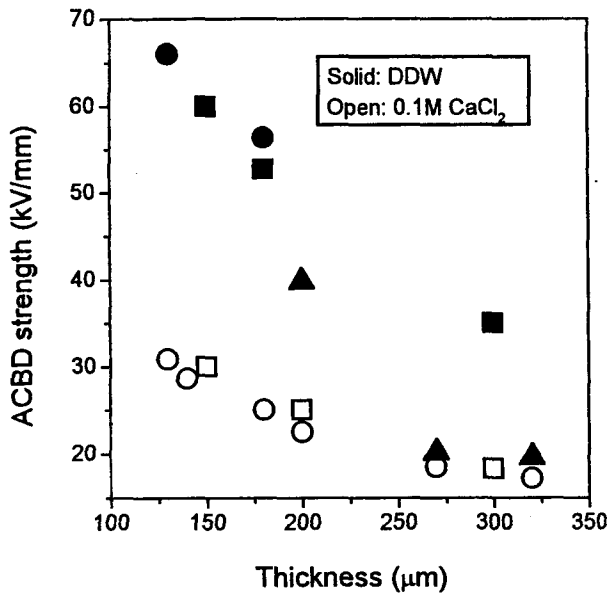


그림 4. 시편 두께에 따른 XLPE의 교류전압 절연파괴강도 : 필름 시편 (○,●), concave 시편 (□,■), ▲: 필름 시편은 접합부위에 가까운 곳에서 파괴.

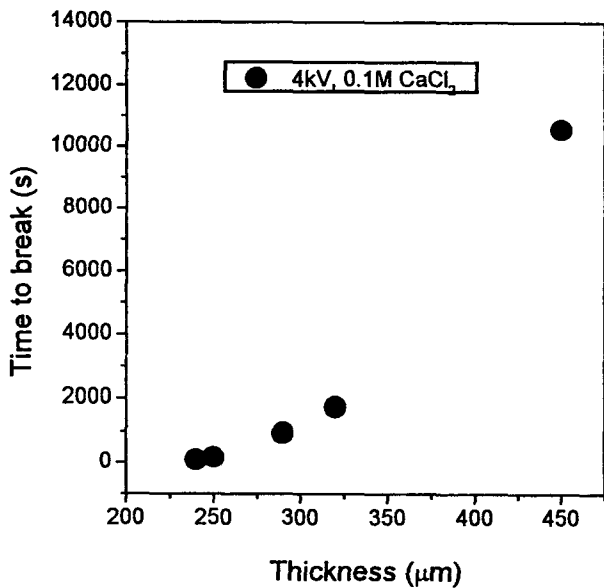


그림 5. 시편두께에 따른 4 kV에서의 파괴시간.

들어간다. 그것을 확인하기 위해 이온 이행성 시험을 같은 장치로써 행하였고 결과는 그림 6에서 보여진다.

그림에서 보듯이 SE-XLPE.CaCl<sub>2</sub>은 반도체필름과 XLPE필름을 같이 접합시키고 0.1M CaCl<sub>2</sub> 수용액을 이

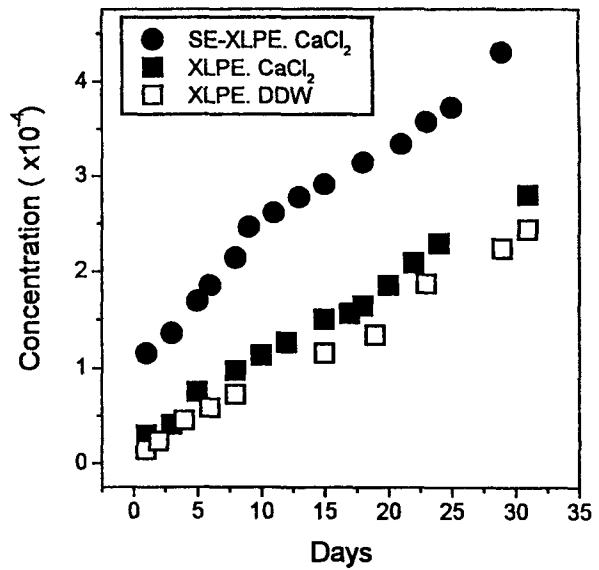


그림 6. 여러 가지 시편의 이온 농도.

용하여 시험한 것이다. XLPE.CaCl<sub>2</sub>은 XLPE필름만을 0.1M CaCl<sub>2</sub> 수용액으로 이용한 것이고 XLPE.DDW은 XLPE필름에 탈이온 중류수만을 이용한 것이다.

그림 6에서 보듯이, 이온 농도는 XLPE필름이 두 개의 탈이온 중류수를 사용할 때가 가장 낮다. 한 쪽에 0.1M CaCl<sub>2</sub> 수용액을 사용하면 이온 농도가 점차적으로 증가한다. 그러나 반도체 전극이 첨가되면 이온 농도가 좀더 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로써 이온들은 전력 케이블의 절연층으로 확산되어 들어간다고 볼 수 있다. 더 중요한 점은 이온 투과나 확산이 이온성 불순물을 많이 포함하는 반도체층이 있을 때 더 큰 값을 갖는다는 것이다.

그림 7은 여러 가지 이온들의 절연파괴강도를 비교한 것이다. 여기에는 XLPE 시편의 두께에 따라 0.1M CaCl<sub>2</sub> 수전극을 사용한 것과 0.1M FeCl<sub>2</sub>와 0.1M NaCl 수전극을 사용한 것들의 비교결과이다. 양이온이 2가로 존재하는 0.1M CaCl<sub>2</sub> 수전극과 0.1M FeCl<sub>2</sub> 수전극을 사용한 것은 두께에 따라 비슷한 결과를 나타낸다. 그러나 양이온이 1가로 존재하는 0.1M NaCl 수전극을 사용한 것에서는 좀 더 높은 파괴강도 값을 나타낸다. 이러한 결과는 이온의 종류에 따라 절연파괴강도의 차이를 보이고, 어떠한 이온이 지중케이블에 더 악영향을 미치는지에 대해 알 수 있다.

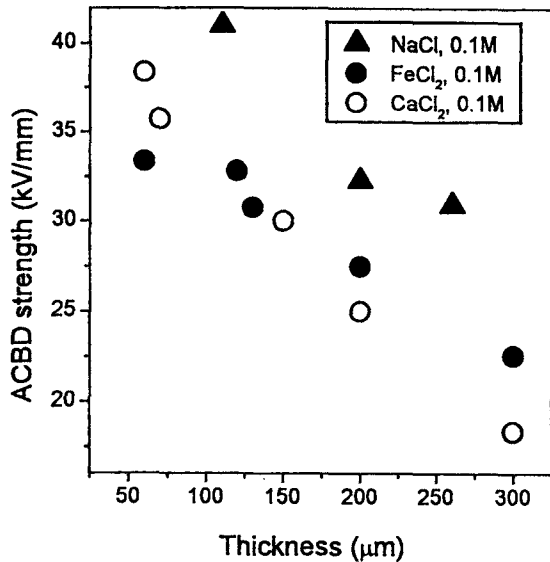


그림 7. 여러 가지 이온들의 교류전압 절연파괴강도.

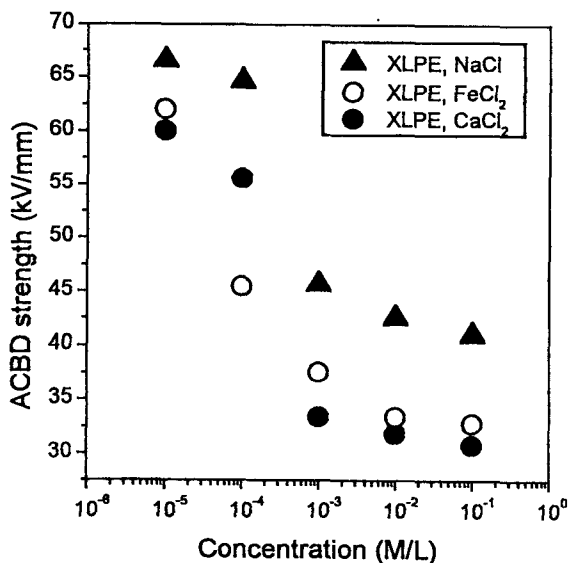


그림 8. 여러 가지 이온들의 농도변화에 따른 교류전압 절연파괴강도의 변화.

그림 8은 CaCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>2</sub>, NaCl 수전극의 이온 농도를 변화시킬 때 각각의 절연파괴강도의 변화를 측정한 결과이다. 그림에서 보면 CaCl<sub>2</sub> 수전극에서는 0.0001M부터는 파괴강도에 많은 차이가 나고, FeCl<sub>2</sub> 수전극은 이온 농도가 증가할수록 점차적인 감소를 가지며, NaCl

수전극은 이온농도에 따라 다른 이온들을 이용한 수전극들의 파괴강도보다 높음을 알 수 있다. 이온농도가 점점 줄어들어 따라 탈이온 종류수 수전극의 파괴강도에 가까운 값을 가지는데 이것은 이온의 농도가 어느 정도 함량이하면 절연파괴특성에 큰 영향을 미치지 못한다는 것을 의미한다.

#### 4. 고찰

본 연구를 통해서 전력케이블이 지중에 있게되면 지중에 포함되어 있는 많은 불순물과 수분들이 절연층으로 유입되었을 때 이런 불순물과 수분들이 사용도중 절연층으로 이행되어 수트리 현상을 도와주는 역할을 하게 된다. 이런 불순물의 유입경로를 두 가지로 나누다면 첫째는 수분이 외부로부터 절연층으로 유입되는 동안 지중수에 용해되어 이온성 불순물로 수분과 함께 유입된다. 둘째는 반도체층에 들어 있던 각종 불순물이 외부로부터 수분이 침투될 때 수분에 용해되거나 또는 자체적으로 확산에 의하여 절연층으로 유입된다고 볼 수 있다. 앞서 결과에서 보듯이 두 번째의 불순물 유입경로에 의한 것이 절연층에 더 큰 영향을 미치게 된다. 이런 이온들이 전극에 존재할 때 이온들은 XLPE의 절연파괴를 가속시킨다.

본 연구결과를 기본으로 XLPE의 교류전압파괴 현상에서 이온성 불순물이 절연층에 미치는 역할과 기구를 연구하는 것이 필요하다.

#### 참고 문헌

- [1] S. Lefebvre et al., Proc. Jicable, Versailles, 1-7, 1989.
- [2] N. M. Burns et al., IEEE Ins. Mag., Vol. 8, 8-24, 1992.
- [3] J. H. Han, Ion Permeation in EVA/Ethylene-based Copolymers/Carbon Black Semiconductive Compounds, PhD Dissertation, Korea University, Korea, 1996.