

## XLPE / EPDM 계면에서의 절연파괴 특성

조정형<sup>000</sup>, 한성구<sup>0</sup>, 이창중<sup>000</sup>, 김석기<sup>0</sup>, 최용식<sup>0</sup>, 박강식<sup>00</sup>, 서광석<sup>0</sup>, 박대희<sup>00</sup>, 한상욱<sup>0</sup>  
충남대학교<sup>0</sup>, 충남전문대학<sup>00</sup>, 한국교원대학교<sup>000</sup>, 고려대학교<sup>0</sup>, 원광대학교<sup>00</sup>

### Properties of Electrical Breakdown in the Interface between XLPE / EPDM

J. H. Jo<sup>000</sup>, S. K. Han<sup>0</sup>, C. J. Lee<sup>000</sup>, S. K. Kim<sup>0</sup>, Y. S. Choi<sup>0</sup>, K. S. Park<sup>00</sup>, K. S. Suh<sup>0</sup>, D. H. Park<sup>00</sup>, S. O. Han<sup>0</sup>

Chung Nam Nat'l Univ.<sup>0</sup>, Chung Nam jr. Coll.<sup>00</sup>,

Korea Nat'l Univ.of Edu.<sup>000</sup>, Korea Univ.<sup>0</sup>, Wonkwang Univ.<sup>00</sup>

#### ABSTRACT

In this paper, We intended to evaluate the characteristics of XLPE/EPDM interface which exists in the cable joint. The fault of practical cable was mainly occurred in this interface. Thus we looked into the electrical characteristics through the conduction current and the breakdown test. Through the experiment, we obtained the result that the conduction current in this interface flowed less than other dielectric materials, that the breakdown strength was higher and that the pressure dependance of the breakdown strength was higher.

#### 1. 서 론

본 연구는 전력케이블용 절연재료의 계면특성을 파악하고자 케이블내에 존재하는 여러 계면중 케이블 절연체(XLPE)와 접속재 절연체(EPDM)의 계면을 설정하고 이 계면에서의 전기적 특성을 파악하고자 한다. 여러가지 전기적 특성중 본 논문에서는 절연파괴부분을 집중적으로 파악하고자 한다. 이러한 계면이 최근들어 중요시되는 이유는 다음과 같다.

첫째, 지금까지 전력케이블용 절연재료의 전기적 성질에 대한 연구가 많이 이루어지고 있기는 하지만, 이는 고분자 절연체 자체에 대한 연구가 대부분이다. 그러나 고분자 절연재료는 절연이 주 목적이기 때문에 도체 또는 다른 종류의 재료를 감싸고 있는 것이 대부분이다. 따라서 실제의 경우에는 거시적인 계면을 가지고 있는 상황에서 절연목적만을 수행한다고 할 수 있다. 이와 같이 계면이 존재할 경우 고분자 자체의 전기적 성질보다는 계면이 절연시스템의 전기적 특성을

좌우하는 가장 중요한 요인으로 작용하게 되는데, 실제로 계면에서의 전계집중 등의 요인으로 인하여 많은 문제점을 가지고 있다. 그러나 절연시스템의 설계단계에서부터 계면에 대한 고려는 거의 없는 실정이다.

이와 같이 고분자 계면에 의하여 고분자 절연체가 있는 시스템의 전기적 성질이 크게 바뀔 가능성이 큰데도 불구하고 이러한 계면에서의 전기적 성질에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있어 고분자 절연체가 이루고 있는 시스템의 전기적 특성에 대한 정확한 평가가 늦어지고 있는 것으로 보인다.

둘째, 최근 절연재료로 가장 많이 사용되고 있는 폴리에틸렌의 경우 그 자체로서 사용되는 것이 아니라 다른 종류의 고분자 (특히 극성을 갖는 고분자)와 블렌딩되어 사용되고 있는 추세이다. 고분자 블렌드의 경우 전기적 특성을 예측하거나 또는 설명하기가 그다지 쉬운 것이 아닌데, 이는 고분자 블렌드내에 존재하는 각 성분 사이에 형성되는 계면 때문이라고 할 수 있다. 특히 폴리에틸렌 블렌드에 제 3의 물질을 첨가할 경우는 각 성분간의 계면에 존재할 가능성이 매우 높는데, 이는 결국 고분자 계면의 상태를 바꾸는 역할을 할 것이다. 이러한 계면상태의 변화는 결국 계면에서의 전하축적 현상을 비롯한 각종 전기적 성질을 변화시킬 것으로 생각된다. 따라서 폴리에틸렌 블렌드의 전기적 특성을 정확하게 설명하기 위해서는 계면의 역할을 정확히 파악해야만 한다. 이를 위하여 고분자 블렌드를 직접 사용하여 연구하는 것도 바람직할 것이나 고분자 블렌드 내에 존재하는 계면은 너무 미시적이고 random하게 분포되어 있기 때문에 고분자 블렌드를 통하여 얻는 결과는 해석이 매우 어려운 것으로 생각된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 간단한 모델, 즉 두 층 또는 세 층의 고분자로 이루어진 laminate를

모델로 설정하여 이를 이용하여 실험한 다음 이 결과를 미시적인 개면상태와 비교하는 작업이 필요하다.

## 2. 시편의 제작 및 실험방법

본 실험에서는 사고의 주요 부분인 케이블 접속부분에 실제 사용되는 접속재 절연재료(EPDM)와 케이블 절연재료(XLPE) 사이의 계면을 설정하고 이 계면에서의 전기적 특성을 규명하기 위해 계면에서의 압력과 전극거리, 온도 및 전극형상에 따른 연면절연파괴 시험을 실시하였다.

### 2-1 시편의 제작

실험에 사용된 절연재료용의 원 시료는 한양화학제 가교폴리에틸렌으로서 (밀도  $0.92[\text{g}/\text{cm}^3]$ )의 저밀도 폴리에틸렌에 가교제인 DCP(dicyclopentadiene)가 3% 첨가된 펠렛을 이용하였다. 본 실험에서는 펠렛상의 폴리에틸렌으로부터 씨트를 제작하여 실험에 이용하였다. 이 시료는 DCP가 첨가되어 있어  $120^\circ\text{C}$  이하에서 성형하였을 경우는 가교제가 분해되지 않아 저밀도폴리에틸렌(LDPE)상태이나,  $150^\circ\text{C}$  이상에서 성형하게 되면 열에 의해 가교제가 분해되어 가교폴리에틸렌이 된다.

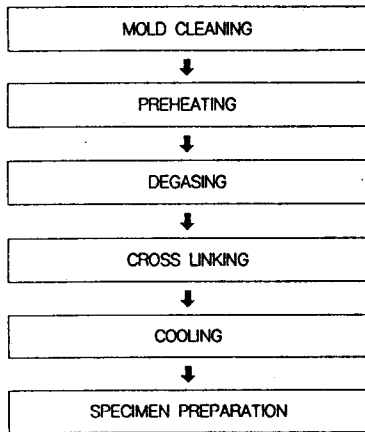


그림 1. 시료 제작 과정  
Fig. 1. Flow Chart of specimen manufacture.

씨트의 가공방법은 폴리에틸렌(XLPE)을 Hot Press를 이용하여  $120^\circ\text{C}$ 에서 15분간 용융시킨 후 기포제거를 위해 몇 번의 가압과정을 거친 후 약  $22\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 가압하여  $180^\circ\text{C}$ 에서 20분간 가교시킨 다음  $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 속도로 냉각시켰다.

또한 두번째 재료인 EPDM은 Compound상태의 재료를 XLPE와 마찬가지로 과정을 거쳐  $175^\circ\text{C}$ 에서 10분간 가교시켜 동형의 씨트상으로 제작하였다.

이러한 시료의 제작과정을 그림 1에 Flow Chart로

나타내었다.

제작한 시료류  $30 \times 40 \times 0.5[\text{mm}^3]$  규격으로 편단하여 사용하였다.

전극은 Al foil(두께  $20\mu\text{m}$ )을 절단하여 선대 침전극( $30^\circ$  각도)의 형태로 하였다.

두 전극간의 간격은 현미경을 통하여 판측하면서 조정하여 각각  $0.25\text{mm}$ ,  $0.5\text{mm}$ ,  $0.75\text{mm}$ 로 하였다. 삽입된 전극은 전기전도나 파괴특성에 대한 불순물의 영향을 최소화 하기 위하여 아세톤으로 세척한후 사용하였다.

### 2-2 실험방법

XLPE/EPDM의 이중구조의 계면에서의 절연파괴시험을 위하여 실리콘유속에 제작한 시편을 넣고 계면에 소정의 온도와 압력을 가한 후 실험하였다. 파괴전압 및 파괴시의 과도 전류 등은 기록계(multi-pen recorder)를 이용하여 측정하고 관찰하였다. 절연파괴 시험용 전원은 출력전압  $0\sim 60\text{kV}$ 의 직류전원장치를 이용하였다. 또한 파괴 형상의 판측을 위하여 광학현미경을 이용하였다.

측정조건중 계면압력은 계면과 수직방향으로  $1\sim 7\text{Kg}$  중/ $\text{cm}^2$ 의 압력을 가하였으며, 온도범위는  $25\sim 90^\circ\text{C}$ 로 하였으며, 또한 전극 형상 및 전극의 극성효과를 조사하기 위하여 전극의 형상과 극성을 변화시켜 가며 파괴시험을 행하였다. 파괴시 전압의 상승속도는  $0.5\text{kV}/\text{s}$ 로 하였고, 측정상의 오차를 고려하여 동일조건 시료를 나수 제작하여 5회 측정 후 평균치로부터 파괴전계를 구하였으며 측정된 결과가 분산된 경우를 통하여 확인하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3-1. 전극형상 및 전계방향에 따른 파괴강도

인가전계 방향 및 전극형태에 따른 영향을 고찰하기 위해 극성을 바꾸어 실험하였고, 침대침 전극을 만들어 파괴 실험을 한 결과 그림 2와 같았다.

실험결과에서 보는 바와 마찬가지로 침대침 (-)일 경우보다 선단이 (-)일 경우가 파괴강도가 우수한 것을 볼 수 있다. 이는 침대침보다 선단에서의 전자의 방출이 용이하여 절연파괴가 먼저 일어나는 것으로 사료된다. 또, 침대침 전극의 경우는 침대선 전극의 경우보다 우수한 절연내력의 나타내었다. 이는 침대평판의 전극구성보다 침대침 전극의 구성이 void 및 이물의 침투면적을 적게 만들어 이들의 영향을 최소화 시킴으로 나타나는 현상으로 사료된다.

### 3-2. 압력 및 거리에 따른 파괴강도

XLPE/EPDM 계면에 미치는 영향을 측정하여 가해

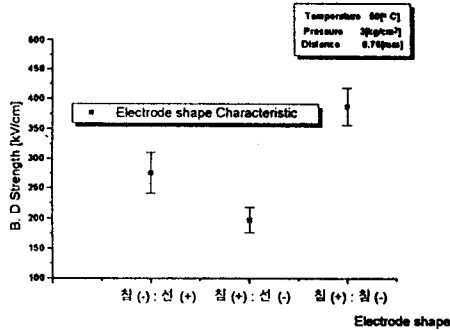


그림 2. 인가 전계 방향 및 전극 형상에 따른 직류파괴전계  
Fig. 2. DC breakdown strength vs. Polarity of applied voltage and Electrode shape

지는 압력 변화에 따른 직류절연파괴강도는 그림 3에 나타냈다. 그림에서 단위 면적당 압력을 1, 3, 5, 7kg중으로 높여 간에 따라 절연 파괴강도가 현저히 증가하는 것을 관측할 수 있었으며, 이것은 압력이 증가함에 따라 계면에서 발생할 수 있는 void를 감소시켜 이들 부분에 전계가 국부적으로 집중되는 것을 완화시켜 절연 파괴강도를 높이는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 전력 케이블 접속시 절연체(XLPE)와 접속재 절연체(EPDM) 사이의 계면을 강하게 접촉시킴으로써 접촉층의 절연 내력을 향상시킬 수 있음을 의미한다.

그림 4은 전극간 거리에 따른 절연 파괴 강도를 나타낸 것으로 거리가 증가함에 따라 절연 파괴 강도가 낮아지는 것으로 나타났다. 이와 같은 특성은 거리가 증가함으로써 전극 사이에 존재하는 결합및 이물의 영향이 증가하고, 시료 전체적으로 동일한 인가전계에서도 두꺼운 쪽의 시료에서 전극부분에 전계 집중현상이 나타나 전극으로부터 파괴가 진전되어 가기 때문으로 생각된다.

#### 4. 결 론

일반적으로 XLPE의 절연내력은 EP고무계 보다 우수하나 연면에서의 절연파괴에서는 오히려 EP고무계의 절연내력이 더 우수한 현상을 볼 수 있었다. 대부분의 사고가 계면을 타고 일어나기 때문에 이러한 계면에서의 현상은 주목할 만하다고 하겠다. 이 연구와 연계하여 계면에서의 미시적인 관찰이 부가적으로 이루어져야 하겠다.

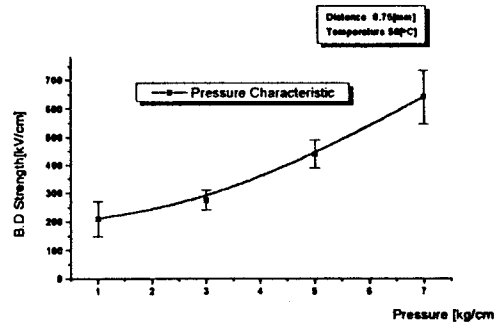


그림 3. 계면 압력의 변화에 따른 직류파괴전계  
Fig. 3. DC breakdown strength vs. interface pressure

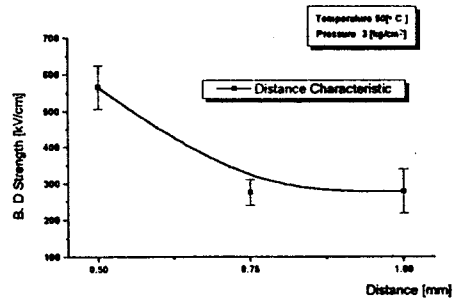


그림 4. 전극 간격의 변화 따른 직류파괴전계  
Fig. 4. DC breakdown strength vs. gap distance

#### 5. 참고문헌

1. "초고압 XLPE케이블용 프리몰드 접속상 기술개발에 관한 연구(최종보고서)" 한전기술연구보고서 (1992. 12. - 1993. 12)
2. S.S. Bamji, A.T. Balinski, R.T. Densley, M.matsuki, "Degradation Mechanism at XLPE/Semicon Interface Subhected to High Electrical Stress", IEEE. Trans. Elect. Ins., Vol.26 No.2, 1991, pp, 278-283
3. "배전용 CN-CV 케이블과 접속재의 열화사고 방지 대책에 관한 연구(최종보고서)", 1992. 11
4. 石田政義, 岡本達希, "界面 活性劑がポリエチレン 絶縁體の高次構造形成と絶縁破壊強度に及ぼす影響" 電學論A, 111권 10호, pp. 923-931, 평성3.
5. 박대회, "XLPE 전력케이블의 이종절연 재료간의 계면현상연구", 1993.9
6. "폴리에틸렌 가공기술", 한양화학

"본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었으며 이에 감사드립니다."