XLPE / EPDM 계면의 전기적 특성

한성구[0*], 조정형[000], 이청종[000], 김종석[00], 서광석[*], 박대희[**], 한상옥[0]
충남대학교[0], 대전산업대학교[00], 한국교원대학교[000], 고려대학교[*], 원광대학교[**]

Electrical Characteristics on the Interface between XLPE / EPDM

S.K.Han[0], J.H.Jo[000], C.J.Lee[000], J.S.Kim[00], K.S.Suh[*], D.H.Park[**], S.O.Han[0]
ChungNam National Univ.[0] , Daejeon National Univ.of Tech.[00],
Korea National Univ.of Edu.[000], Korea Univ.[*], Wonkwang Univ.[**]

ABSTRACT

In this paper, We intended to evaluate the characteristics of XLPE/EPDM interface which exists in the cable joint. The fault was mainly occurred in this interface. Thus we looked into the electrical characteristics through the conduction current and the breakdown test. Through from 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

최근 급속한 산업발달에 따라 전력수요가 급격히 증가하고 있으며 이에 따라 전력기기의 대용량화, 전력계통의 고압화가 추진되고 있다. 이에 따라 기존절연재료에 대한 절연재료의 성능 개선 및 보다 우수한 절연재료의 개발이 절실히 요구되고 있다. 케이블절연재료의 경우 절연재료의 성능개선과 전력계통의 신뢰성을 확보하기 위해 단일구조 보다는 대부분이 복합구조로 구성되고 있다.

특히 초고압전력케이블 접속부에 있어서는 에폭시, 절연고무(EPR:ethylene prophylene rubber), 반도전고무(SCR:semiconducting rubber), 절연오일, 가교폴리에칠렌(XLPE)등의 다층구조로 이루어져 있다.

따라서 이들 재료간에는 항상 이종계면이 존재하게 되고, 이들 재료간에는 도전율이나 유전율등의 전기적 특성의 차이로 인하여 그 계면에는 전계의 집중이나 전하의 축적 등의 가능성이 내재하게 되어 절연 취약부로서 케이블 사고의 주요한 원인이 되고 있다.

본 연구에서는 지중배전용 전력케이블의 이종 절연계면에서의 전기적 특성을 연구하기 위하여 케이블 절연재인 XLPE와 접속재인 EPDM 사이의 계면구조를 제작하여 이곳에서의 전도전류와 절연파괴 거동을 입력, 온도, 극간 거리를 함수로 하여 측정, 조사하였다.

2. 시편의 제작 및 실험방법

전기절연재료로서 널리 사용되고 있는 폴리에틸렌은 반결정성 고분자로서 분자구조는 단순하지만 제작조건에 따라 고차구조가 크게 변화하게 된다.

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 입력과 전극거리, 온도 및 전극형상에 따른 연면절연파괴 시험을 실시하였다. 또한 Electrometer를 이용하여 계면에서의 전도전류를 측정하였다.

2-1 시편의 제작

실험에 사용된 절연재료용의 원 시료는 한양화학제 가교폴리에틸렌으로서 (밀도 0.92[g/cm^2]의 저밀도 폴리에틸렌에 가교제인 DCP(dyclopentadiene)가 3 %첨가된 펠렛을 이용하였다. 본 실험에서는 펠렛상의 폴리에틸

렌으로부터 씨트로 제작하여 실험에 이용하였다. 이 시료는 DCP가 첨가되어 있어 120℃이하에서 성형하였을 경우는 가교제가 분해되지 않아 저밀도폴리에틸렌(LDPE)상태이나. 150℃이상에서 성형하게 되면 열에 의해 가교제가 분해되어 가교폴리에틸렌이 된다.

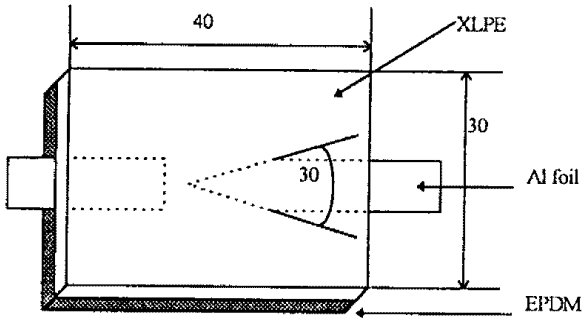
씨트의 가공방법은 폴리에틸렌(XLPE)을 Hot Press를 이용하여 120℃에서 15분간 용융시킨 후 기포제거를 위해 몇 번의 가압과정을 거친 후 약 22kg/cm^{2}로 가압하여 180℃에서 20분간 가교시킨 다음 냉각시켰다.

또한 두번째 재료인 EPDM은 Compound상태의 재료를 XLPE와 마찬가지 과정을 거쳐 175℃에서 10분간 가교시켜 동형의 씨트상으로 제작하였다.

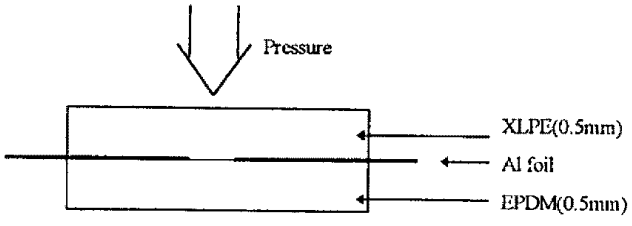
제작한 시료를 30×40×0.5[mm^3] 규격으로 절단하여 사용하였다.

전극은 Al foil(두께 20㎛)을 절단하여 그림 1 과 같은 구조로 선대 침전극(30° 각도)의 형태로 하였다.

두 전극간의 간격은 현미경을 통하여 관측하면서 조정하여 각각 0.25mm, 0.5mm, 0.75 mm 1mm로 하였다. 삽입된 전극은 전기전도나 파괴특성에 대한 불순물의 영향을 최소화 하기 위하여 아세톤으로 세척한후 사용하였다.



(a)



(b)

그림1. 절연물 계면에서의 전극 구성
(a) 시편의 정면도 (b) 시편의 옆면도

Fig. 1. Electrode apparatus of in the interface of insulation
(a) A front view of specimen
(b) A side view of specimen

2-2 실험방법

XLPE/EPDM 의 이중구조의 계면에서의 절연파괴시험을 위하여 실리콘유속에 제작한 시편을 놓고 계면에 소정의 온도와 압력을 가한 후 그림 2의 회로를 이용하여 실험하였다. 파괴전압 및 파괴시의 과도 전류 등은 기록계(multi-pen recorder)를 이용하여 측정하고 관찰하였다. 절연파괴시험용 전원은 출력전압 0~60kV의 직류전원장치를 이용하였다. 또한 파괴 형상의 관측을 위하여 광학현미경을 이용하였다.

측정조건중 계면압력은 계면과 수직방향으로 1-7Kg중/cm^{2}의 압력을 가하였으며, 온도범위는 25 - 90 ℃로 하였으며, 또한 전극 형상 및 전극의 극성효과를 조사하기 위하여 전극의 형상과 극성을 변화시켜 가며 파괴시험을 행하였다. 파괴시 전압의 상승속도는 0.5kV/s로 하였고, 측정상의 오차를 고려하여 동일조건의 시료를 다수 제작하여 5회 측정한 후 평균치로 부터 파괴전계를 구하였으며 측정된 결과가 분산된 경우는 추가 실험을 통하여 확인하였다.

또한 이종 계면에서의 전도전류 및 계면에 실리콘 절연유가 함께 있는 조건에서의 전도전류를 측정하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션으로 전계분포를 알아보았다.

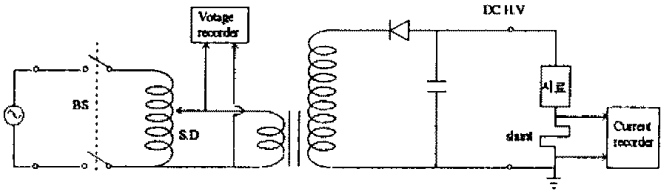


그림 2. 장치 회로도

Fig. 2. A circuit diagram of equipment

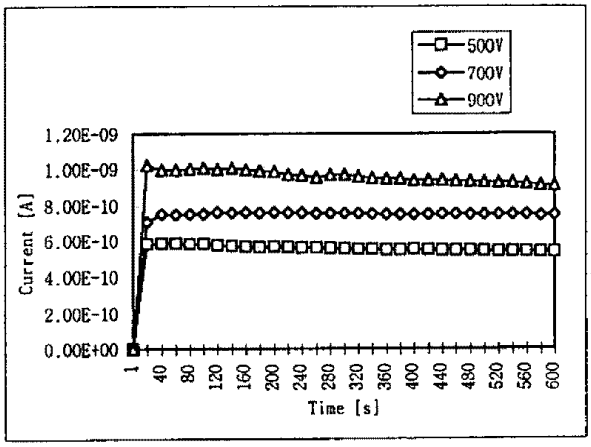


그림 3. 계면에서의 전도전류의 변화

Fig. 3. Variation of conduction current in interface

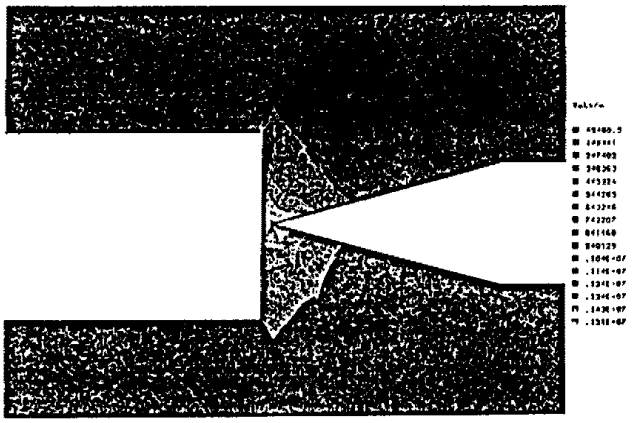
3. 실험결과 및 고찰

3. 1 XLPE/EPDM 계면에서의 전기전도

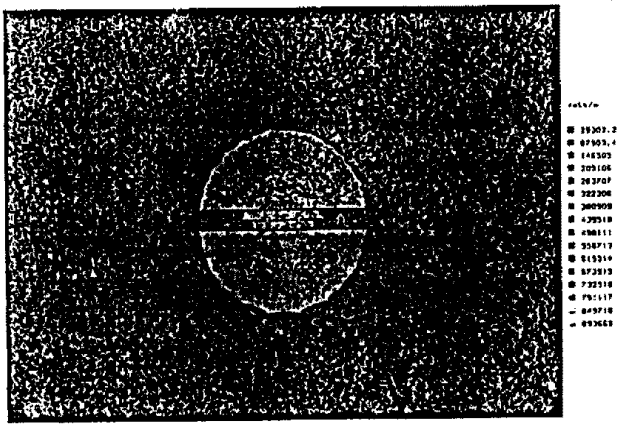
가교폴리에틸렌과 절연고무 계면에서의 전기 전도 특성을 측정하기 위해 쉬트상의 시편 사이에 Al foil를 평판상으로 설치하고 전압을 변화시키며 상온에서 전도전류를 측정하였다. 전극사이의 거리 0.75mm에서는 900[V] 까지 전압을 올려도 전도전류가 매우작아 관측하기 어려웠으며, 전극거리 0.25mm로 하여 측정한 결과 그림 3과 같이 관측되었다. XLPE/EPDM계면에서의 전도전류는 아주 적게 흐르는 것으로 관측되었으며, 흡수전류가 거의 없는 것으로 나타났고, 전압증가에 따라 전류가 비례하여 증가하였다.

3. 2 전계 분포 및 전극형상에 따른 파괴강도

실험에 사용한 시편의 전계 분포를 조사하기 위하여 유한요소법으로 시뮬레이션한 결과를 분석한 결과를 그림 4에 나타냈다. 그림 4.(a)는 그림 1.(a)형상의 전계 분포를 해석한 것이고, (b)는 그림 1.(b)의 형상을 해석한 것이다.



(a)



(b)

그림 4. 계면에서 전극주변의 전계 분포

Fig. 4. Distribution of Electric field around the electrode of interface layer

전계 분포를 분석한 결과 침전극의 선단에 전계가 집중되는 현상을 관측 할 수 있었으며 이곳에서의 실제 파괴 상태를 관찰한 결과 이와 일치하는 것을 발견할 수 있었다.

인가전계 방향 및 전극형태에 따른 영향을 고찰하기 위해 극성을 바꾸어 실험하였고, 침대침 전극을 만들어 파괴 실험을 한 결과 그림 5와 같았다.

3. 3 XLPE/EPDM 계면에서의 절연파괴

XLPE/EPDM 계면에 미치는 영향을 측정하여 가해지는 압력 변화에 따른 직류절연파괴강도는 그림 6에 나타냈다. 그림에서 단위 면적당 압력을 1, 3, 5, 7kg중으로 높여 감에 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 전력케이블 접속시 절연체(XLPE)와 접속재 절연체(EPDM) 사이의 계면을 강하게 접촉시킴으로써 접착층의 절연내력을 향상시킬 수 있음을 의미한다.

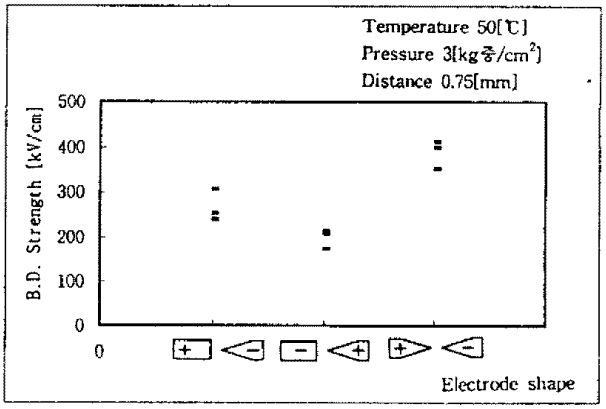


그림 5. 인가 전계 방향 및 전극 형상에 따른 직류파괴전계

Fig. 5. DC breakdown strength vs. Polarity of applied voltage and Electrode shape

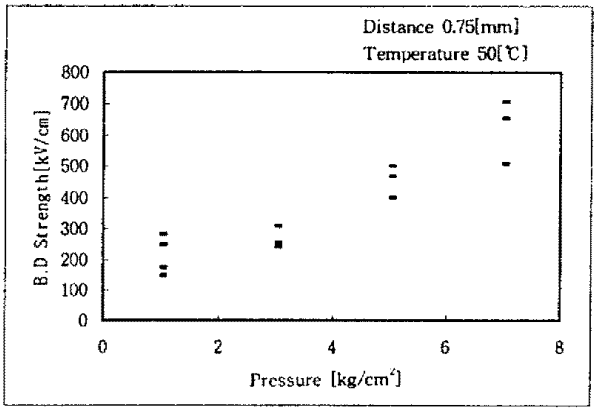


그림 6. 계면 압력의 변화에 따른 직류파괴전계

Fig. 6. DC breakdown strength vs. interface pressure

그림 7은 전극간 거리에 따른 절연 파괴 강도를 나타낸 것으로 거리가 증가함에 따라 절연 파괴 강도가 낮아지는 것으로 나타났다. 이와 같은 특성은 거리가 증가함으로서 전극 사이에 존재하는 결함및 이물의 영향이 증가하고, 시료 전체적으로 동일한 인가전계에서도 두꺼운 쪽의 시료에서 전극부분에 전계 집중현상이 나타나 전극으로부터 파괴가 진전되어 가기 때문으로 생각된다.

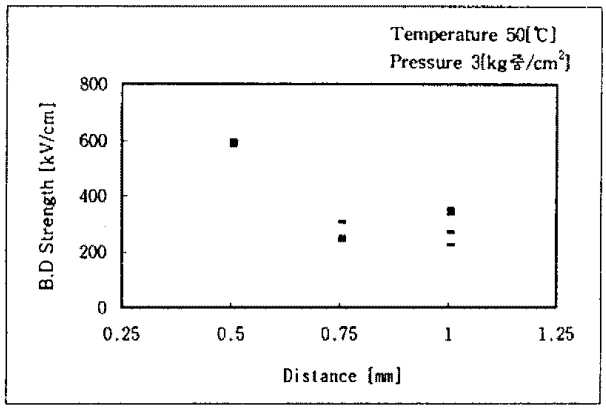


그림 7. 전극 간격의 변화 따른 직류파괴전계
Fig. 7. DC breakdown strength vs. gap distance

그림 8은 계면(XLPE/XLPE, XLPE/EPDM) 사이에서 절연 파괴시 나타나는 전류의 파형으로 (a)는 전극 사이에 공극이 형성되어 기중 파괴가 일어난 것으로 보이며 (b)와 (c)는 두 종류의 계면 사이에서 다른 절연 파괴 형태를 보이고 있음을 나타내고 있다. 이러한 결과는 XLPE/XLPE의 계면과 XLPE/EPDM 사이의 계면이 서로 다른 접촉 강도를 가지며 void등과 같은 절연 파괴에 영향을 미치는 인자들이 다르게 존재하는 것으로 생각된다.

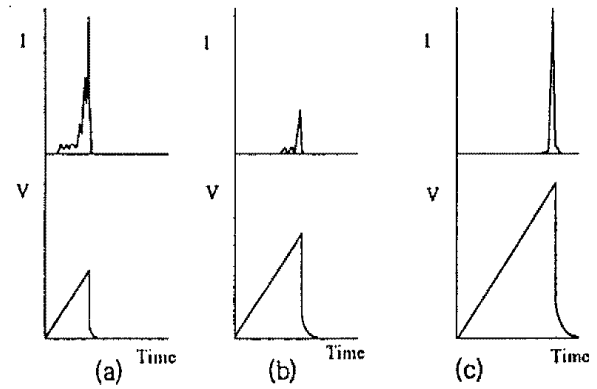


그림 8. 계면 사이의 절연 파괴시 전류 · 전압 파형
(a)전극 사이에 보이드 존재 (b)XLPE/XLPE 계면
(c)XLPE/EPDM 계면
Fig. 8 Current and voltage waveform at the time of breakdown
(a) Existence of void in the interface
(b) XLPE/XLPE interface (c) XLPE/EPDM interface

XLPE/XLPE 계면에서는 XLPE/EPDM계면보다 접촉 강도가 낮고 void들의 형성이 용이함으로써 부분 방전등이 쉽게 이루어질 것으로 보인다.

동일조건에서의 XLPE/XLPE계면과 XLPE/EPDM계면에서의 절연파괴 강도의 신술 평균값을 비교해 보면, XLPE/EPDM계면에서의 파괴 강도가 XLPE/XLPE계면에서의 강도보다 약 2.9배정도 높다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 고압용전력케이블의 접속시 가교 폴리에틸렌(XLPE)/절연고무(EPDM) 계면에서 발생하는 전기적 특성을 조사하기 위하여 절연 파괴, 전도전류 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. XLPE/EPDM계면에서의 전도 전류는 공기층 또는 보이드를 제거한 결과 보이드가 존재할 경우보다 전도전류가 작게 나타났다.
2. XLPE/EPDM계면에서의 절연파괴 강도는 XLPE/XLPE계면의 파괴 강도보다 우수하였다.
3. XLPE/EPDM계면에서의 파괴 강도는 압력증가에 따라 크게 증가 하였다. 압력증가에 따라 void의 감소에 기인하는 것으로 보여진다.

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 방지대책에 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 絶緣體の高次構造形成と絶緣破壞強度に及ぼす影響" 電學論A, 111권 10호, pp. 923~931, 평성3.
5. 박대희, "XLPE 전력케이블의 이종절연 재료간의 계면현상연구", 1993.9
6. "폴리에틸렌 기공기술", 한양화학

"본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다."