

## XLPE / EPDM의 계면처리조건에 따른 절연파괴 특성

한성구<sup>0\*</sup>, 조정형<sup>00</sup>, 이창종<sup>00</sup>, 박양범<sup>\*</sup>, 박강식<sup>\*\*</sup>, 한상욱<sup>0</sup>  
충남대학교<sup>0</sup>, 충남전문대<sup>00</sup>, 한국교원대학교<sup>000</sup>, 청주기능대학<sup>\*</sup>

### Breakdown Characteristics of XLPE/EPDM on the Treatment Condition of the Interfacial layer

S.K.Han<sup>0</sup>, J.H.Jo<sup>00</sup>, C.J.Lee<sup>00</sup>, Y.B.Park<sup>\*</sup>, K.S.Park<sup>\*\*</sup>, S.O.Han<sup>0</sup>  
ChungNam National Univ.<sup>0</sup>, Chung Nam jr. Coll.<sup>\*\*</sup>,  
Korea National Univ.of Edu.<sup>00</sup>, Cheong-Ju Polytech. Coll.<sup>#</sup>

#### ABSTRACT

In this paper, We intended to evaluate characteristics of XLPE/EPDM interface which exists in the cable joint. Because the fault was mainly occurred in this interface.

We investigated breakdown characteristics of XLPE/EPDM double layered insulator as a funtion of temperature, pressure, annealing time, kinds of jointmaterial. It was shown that breakdown strength of XLPE/EPDM insulators is higher that of XLPE/XLPE or EPDM/EPDM

#### 1. 서 론

전력기기의 대용량화, 전력계통의 고압화가 추진됨에 따라 기존의 절연재료 보다 우수한 절연재료의 개발이 절실히 요구되고 있다. 케이블절연재료의 경우 절연재료의 성능개선과 전력계통의 신뢰성을 확보하기 위해 단일구조 보다는 대부분이 복합구조로 구성되어 있다. 이러한 복합구조 중 주요 사고 부분인 접속부에서의 이종 및 동종 계면의 계면 접속재료에 따른 절연파괴 강도를 연구함으로써 보다 효과적인 절연을 하고자 한다.

본 연구에서는 XLPE/EPDM, XLPE/XLPE, EPDM/EPDM 등의 계면을 설정하고 접속재료의 종류, 온도, 압력에 따른 특성, 또 열처리 시간에 따른 절연파괴 특성 등을 조사하였다.

#### 2. 시편의 제작 및 실험방법

##### 2.1 시편의 제작

실험에 사용된 절연재료용의 원 시료는 한양화학계 가교폴리에틸렌으로서 (밀도 0.92[g/cm<sup>3</sup>])의 저밀도 폴리에틸렌에 가교제인 DCP(dicyclopentadiene)가 3 %첨가된 펠렛을 이용하였다. 본 실험에서는 펠렛상의 폴리에틸렌으로부터 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<sup>2</sup>로 가압하여 180℃에서 20분간 가교시킨 다음 냉각시켰다.

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

제작한 시료를 30×40×0.5[mm<sup>3</sup>] 규격으로 절단하여 사용하였다.

전극은 Al foil(두께 20μm)을 절단하여 사용하였다.

##### 2.2 실험방법

XLPE/EPDM 의 이종구조의 개발에서의 절연파

과시험을 위하여 실리콘유속에 제작한 시편을 놓고 계면에 소정의 온도와 압력을 가한 후 실험하였다.

파괴진압 및 파괴시의 과도 진류 등은 기록계 (multi-pen recorder)를 이용하여 측정하고 관찰하였다. 절연파괴시험용 진원은 출력전압 0~30kV의 교류진원장치를 이용하였다. 또한 파괴형상의 관측을 위하여 광학현미경을 이용하였다.

측정조건중 계면압력은 계면과 수직방향으로 10~50N/cm<sup>2</sup>의 압력을 가하였으며, 온도범위는 25~90℃로 하였으며, 파괴시 전압의 상승속도는 0.5kV/s로 하였고, 측정상의 오차를 고려하여 동일조건외의 시료를 다수 제작하여 5회 측정 후 평균치로 부터 파괴전계를 구하였으며 측정된 결과가 분산된 경우는 추가 실험을 통하여 확인하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 계면 처리 재료에 따른 절연파괴 강도

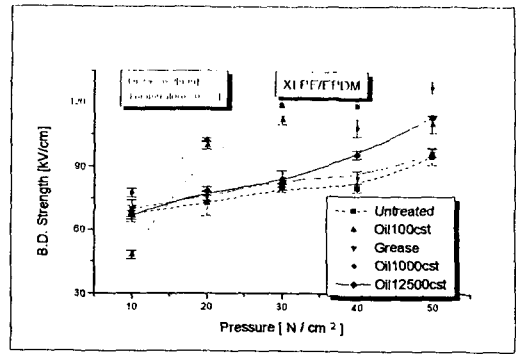
XLPE와 EPDM 두 시편의 계면에 Silicone Oil 100cst, 1000cst, 12500cst 및 절연 Grease를 처리한 시료와 계면에 아무처리 하지 않은 시료의 계면 압력에 따른 AC절연파괴 강도를 Fig. 1에 나타내었다.

모든 시료가 계면 압력 증가에 따라 강도가 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 점도에 따라 두 가지 양상으로 나타났다. 점도가 낮은 100cst, 1000cst를 처리한 경우는 30N/cm<sup>2</sup>까지는 급격한 파괴 강도의 증가를 보이고 이후 둔화되는데 비해, 높은 점도를 갖는 12500cst 및 Grease로 처리한 시료의 경우는 처리하지 않은 시료와 마찬가지로 계면 압력 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 이것은 1000cst 처리 시료가 100cst처리 시료 보다도 더 직선적이라는 사실과도 일치한다.

Silicone Oil 100cst와 1000cst로 처리한 시료에서 30N/cm<sup>2</sup> 까지 절연파괴 강도가 급격하게 증가하는 것은 낮은 점도의 Oil층으로 이온들이 쉽게 이동하다가 압력 증가에 따라 Oil층의 두께가 얇아져 이온의 이동성을 완화시키기 때문이 아닌가 생각한다.

#### 3.2 시료에 따른 절연파괴 강도

Fig. 2은 여러 종류의 재료에 대하여 동종계면



절연파괴 강도를 비교해 본 것이다. 각 재료에 그림 1 압력에 따른 XLPE/EPDM계면의 처리조건과 절연파괴 강도

Fig. 1 AC breakdown strength vs. interface treatment condition (on Pressure)

대하여 접촉성을 살펴 보았는데 pure EPDM 이 가장 접촉성이 좋았으며 XLPE가 가장 나쁜 것으로 나타났다. 파괴 진계 값들이 이 사실과 잘 일치하는데, pure EPDM이 가장 큰 파괴 진계를 보였으며, XLPE가 가장 낮은 파괴 진계를 나타냈다. 이것은 Fig. 4, 5에도 일관성 있게 나타나는 데 벌크 파괴 진계가 EPDM보다 XLPE가 높다는 사실과 비교해 보면, 계면 사이의 절연파괴 강도가 계면의 접촉성에 크게 지배 받는다는 사실을 알 수 있다.

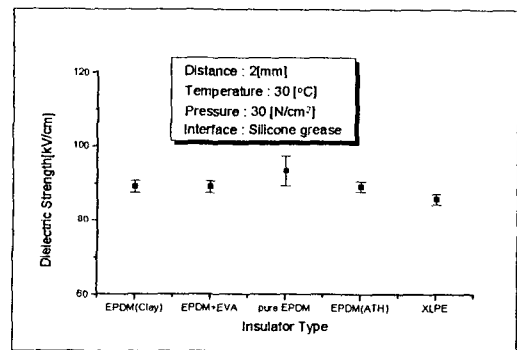


그림 2 절연재료조합에 따른 절연파괴 강도

Fig. 2 AC breakdown strength vs. material combination

#### 3.3 온도에 따른 계면 절연파괴 특성

XLPE/EPDM 계면에 처리하는 여러 종류의 고분자물질들은 온도에 변화에 따라 그 특성에 많은 차이를 보이고 있다.

##### 3.3.1 이종계면에서의 온도특성

Fig. 3는 XLPE/EPDM이종계면에 silicone oil 100cst, 1000cst, 12500cst 및 절연 Grease로 처리한 시료에 대하여 30℃, 45℃, 60℃, 75℃, 90℃에 대하여 온도 특성을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 나타났던 것과 마찬가지로, 저점도 100cst, 1000cst와 고점도를 갖는 12500cst 및 절연 Grease 두가지로 성질이 다르게 나타났다.

저점도의 경우는 온도에 따라 거의 변화가 없어 일정하게 나타났으며, 고점도의 경우인 12500cst와 절연 Grease로 처리한 경우에는 온도 증가에 따라 절연 파괴 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 계면 사이에 존재하는 micro void와 관계된 것으로 보인다. 저점도 oil은 유동성이 커서 void가 들어갈 가능성이 아주 작지만, 고점도의 경우는 void가 들어갈 가능성이 크고 온도 증가에 따라 유동성이 커져 void가 제거 되기 때문에 파괴 강도가 증가하는 것으로 생각될 수 있다.

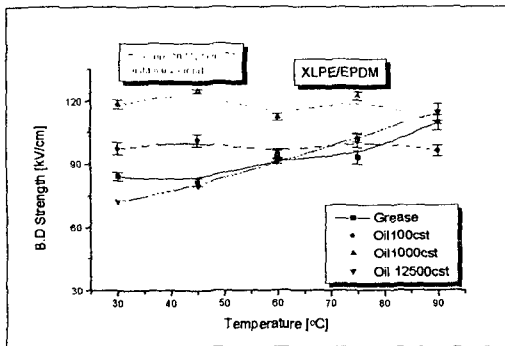


그림 3 온도에 따른 XLPE/EPDM계면의 처리조건과 절연파괴강도와와의 관계

Fig. 3 Relationship interfacial treating condition of XLPE/EPDM and Breakdown Strength on Temperature.

### 3.3.2 동종계면과 이종계면에서의 온도특성 비교

Fig. 4와 Fig. 5은 XLPE/XLPE, EPDM/EPDM 동종계면과 XLPE/EPDM이종 계면 사이에 각각 Silicone Oil 12500cst와 절연 Grease로 처리한 후 온도 특성을 나타낸 것이다.

두 경우 모두 동종계면에서는 온도 변화에 따라 절연 파괴 강도의 변화가 적게 나타나는데 반하여, 이종 계면에서는 온도가 증가함에 따라 절연 파괴 강도가 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 3에서 저 점도를 갖는 1000cst등에서도 이종계면이라 하더라도 변화가 거의 없는 것으로 나타난 것과 비교해 볼 때, 높은 점도의 Silicone oil과

XLPE/EPDM이종계면이 동시에 존재할 때는 계면에 공간 전하 형성과 같은 어떤 특이한 현상이 나타나는 것이 아닌가 생각되며, 이것은 차후 더 세밀히 연구되어야 할 것으로 보인다.

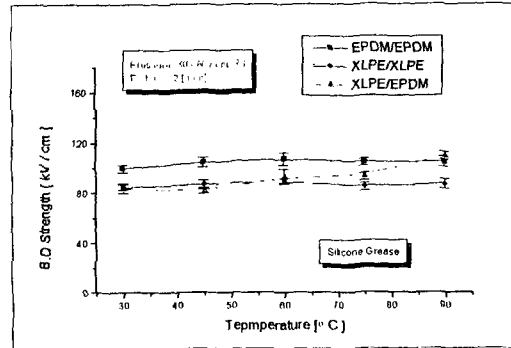


그림 4 온도에 따른 절연파괴 강도(Silicone Grease)  
Fig. 4 AC breakdown strength vs. Temperature (Silicone Grease)

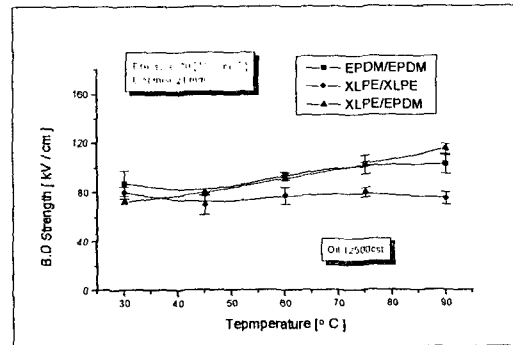


그림 5 온도에 따른 절연파괴 강도(Silicone Oil)  
Fig. 5 AC breakdown strength vs. Temperature (Silicone Oil 12500cst)

### 3.4 시료의 열처리 효과

XLPE/EPDM 시료에 대하여 열처리 효과를 조사하여 보았다. 계면 사이에 Grease를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우 2가지에 대하여 80℃ 오븐에 넣고 10분, 20분, 30분, 1시간, 4시간, 10시간 동안 열처리 한후 시료를 관찰하고 절연 파괴 값을 구해 보았다.

Grease처리를 하지 않은 시료는 10분 정도의 열처리로 계면 사이가 밀착되므로 기포등이 거의 제거된다. Silicone Grease를 처리한 후 열처리 한 경우는 Grease가 계면 전체에 얇게 확산되었으며 일부는 밖으로 흘러 나왔다. 파괴 전계를 보면 두 경우 모두 열처리 하지 않은 것에 비해 20%정도 파괴전계가 증가 했으며, 열처리 시간 증가에

따라 감소하는 경향을 보이다가 4시간 이후로 거의 일정한 값을 유지했다. 10분 정도 열처리에도 계면 시이기 분기나, Silicone Grease의 유동성 증가로 확산되면서 계면 사이의 보이드를 내폭 감소시켜 파괴 진계를 향상시키는 것으로 보이며 열처리 시간에 따라 감소하는 것은 열처리 시간의 증가에 따라 계면에 축적되는 공간전하가 감소한다는 보고[1]와 비교해 볼 때 전하 감소에 따라 전극 끝단의 전계 완화 효과가 줄어들어 파괴 전계가 낮아지는 것으로 보인다.

Grease로 처리한 경우의 파괴 전압이 더 분산되는 경향을 보이고 있는데, 이것을 Grease가 유동성이 커져 흐르면서 계면 상태가 균일하게 되지 않아서 인 것으로 보이며, 시료의 열처리 후 현미경 관찰을 했을 때 시료에 따라 계면 상태에 차이가 있었던 점과 일치한다.

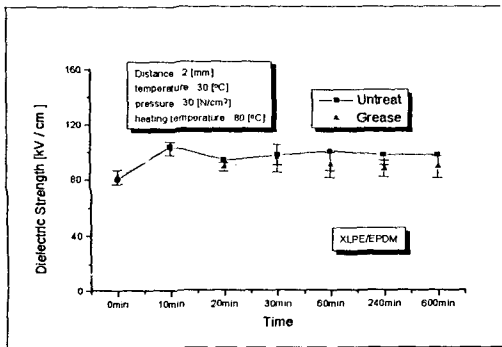


그림 6 열처리 시간에 따른 절연파괴강도  
Fig. 6 AC breakdown strength vs. annealing time

#### 4. 결 론

본 연구는 고압용전력케이블의 접속시 가교 폴리에틸렌(XLPE)/절연고무(EPDM) 계면에서 계면의 처리조건에 따른 절연파괴 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 계면 사이의 절연 파괴는 ①계면사이의 접촉성 ②계면 압력 ③계면 사이의 결합제(Oil, Grease)에 의해 주로 영향을 받는다. 계면의 접촉성이 좋을수록 높은 파괴강도를 나타내었다.
2. 계면 결합제인 Silicone Oil 및 Grease의 점도에 따라 아주 다른 양상을 갖는다. 낮은 점도의 Silicone Oil에서는 온도나 압력에 따른 특성이 잘 나타나지 않았으나, 높은 점도의 Silicone Oil이나 Grease에서는 온도나 압력이 증가함에 따라 파괴

강도도 증가하는 경향을 나타내었다.

3. XLPE/EPDM이종 계면은 EPDM/EPDM, XLPE/XLPE 동종 계면에 비하여 파괴강도가 높게 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. “전력케이블용 절연재료의 계면특성 향상 기술(중간보고서)” 기초전력공학공동연구보고서(1995. 9. - 1996. 8)
2. S.S. Barnji, 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 접속제의 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. C. Dang and D. Fournier “A Study of the interfacial breakdown in cable joints”, IEEE 1994 Annual Report. Conf. on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. 1994 pp : 518-523
6. Daniel Fournier and Laurent Lamarre “Interfacial Breakdown Phenomena Between two EPDM Surfaces”, Sixth Int’l Conf. On Dielectric materials, Measurements and Applications. 1992 pp : 330-333

“본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.”