

XLPE / EPDM 계면의 열처리 시간에 따른 전기적 특성

최원창⁰, 이재정⁰, 김석기⁰, 조대석⁰, 박강식*, 김종석**, 한상욱⁰
충남대학교⁰, 충남전문대*, 대전산업대학교**

Electrical characteristics on the interfacial heat treatment time
between XLPE/EPDM laminates

W.C.Choi⁰, C.J.Lee⁰, S.K.Kim⁰, D.S.Jo⁰, K.S.Park*, J.S.Kim**, S.O.Han⁰
ChungNam National Univ.⁰, ChungNam Jnr. Coll.*,
TaeJon National Univ. of Tech.**

ABSTRACT

The main fault in this interface is that power cable insulating materials are mainly composed of a double layered structure, XLPE/EPDM laminates in cable joint. In this paper, we instituted the interface of normal and degassed XLPE/EPDM and then investigated the breakdown and conduction characteristics as a function of heat treatment time.

The results showed that conduction and breakdown strength was influenced by volatile crosslinking by-products which remained inside the insulating material during the production of XLPE and EPDM, especially during heat treatment process. And micro voids and surface roughness also influenced the conduction current and breakdown strength.

1. 서 론

최근 전력기기의 대용량화, 전력계통의 고전압화가 추진됨에 따라 기존의 절연재료 보다 우수한 절연재료의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 케이블 절연재료의 경우 절연재료의 성능 개선과 전력계통의 신뢰성을 확보하기 위해 단일 구조보다는 대부분이 복합구조 형태로 구성되어 있다. 그러나 케이블의 경우 이와같은 복합절연구조의 경계면에 사고가 집중되기 때문에 이에

대한 특성해석 및 원인분석이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 케이블 접속부분의 상태를 분석하기 위하여 XLPE/EPDM 계면을 설정하고 열처리 시간에 따른 전기전도와 절연파괴강도를 측정하여 절연특성에 미치는 영향에 대하여 평가하였다.

2. 시편의 제작 및 실험방법

2.1 시편의 제작

실험에 사용된 절연재료의 원 시료는 한양화학의 가교폴리에틸렌으로서 밀도 0.92[g/cm³]의 저밀도 폴리에틸렌에 가교제인 DCP(dicyclopentadiene)가 3% 첨가된 펠렛을 이용하였다. 이중구조의 라미네이트 시편을 제작하기 위하여 본 실험에서는 펠렛상의 폴리에틸렌으로부터 두께 0.5mm의 쉬트로 제작하여 실험에 이용하였다. 이 시료는 DCP가 첨가되어 있어 120℃ 이하에서 성형하였을 경우는 가교제가 분해되지않아 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) 상태이나, 150℃ 이상에서 성형하게 되면 열에 의해 가교제가 분해되어 가교폴리에틸렌이 된다.

시료의 가공방법은 폴리에틸렌(XLPE)을 Hot Press를 이용하여 120℃에서 15분간 용융시킨 후 기포제거를 위해 6~7회의 가압과정을 거친 후 약 22kg/cm²로 가압하여 180℃에서 20분간 가교시킨 다음 냉각시켰다.

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

제작한 시료를 $20 \times 30 \times 0.5[\text{mm}^3]$ 규격으로 절단하여 사용하였다.

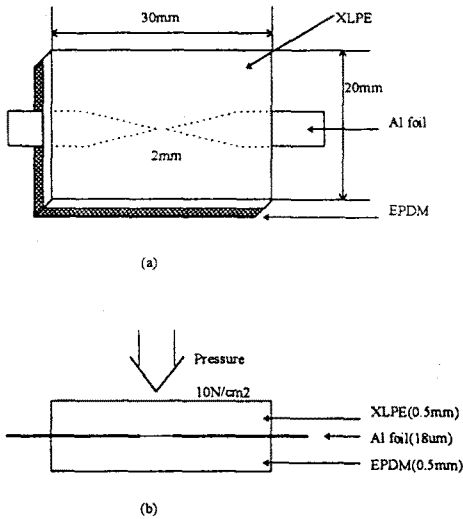


Fig. 1 Shapes of specimen for test
a) Front view b) Side view

파괴 시험용 시편의 제작에 사용한 XLPE와 EPDM 쉬트는 라미네이트시키기 전에 두 그룹으로 나누어 한 그룹은 시료를 세척하여 50°C의 일정한 온도로 유지된 진공 챔버속에서 1시간 동안 건조시켰으며, 다른 한 그룹은 세척 후 80°C의 일정한 온도로 유지된 진공 오븐속에서 48시간동안 건조시킨 다음 XLPE/EPDM의 이중계면을 갖는 복합구조의 절연파괴 시험용 시편의 제작에 이용하였다.

2.2 실험방법

열처리된 (Normal, Degassed) XLPE/EPDM의 이중구조의 계면에서의 절연파괴시험을 위하여 실리콘유속에 제작한 시편을 놓고 계면에 소정의 압력을 가한 후 실험하였다.

파괴전압 및 파괴시의 과도전류 등은 기록계 (multi-pen recorder)를 이용하여 측정하였다. 절연파괴시험용 전원은 출력전압 0~30kV의 교류전원장치를 이용하였다. 또한 파괴 형상의 관측을 위하여 광학현미경을 이용하였다.

측정조건중 계면압력은 계면과 수직방향으로 $10\text{N}/\text{cm}^2$ (케이블 접속재의 실제압력)의 압력을 가하였으며, 파괴시 전압의 상승속도는 $0.5\text{kV}/\text{s}$ 로

하였고, 측정상의 오차를 고려하여 동일조건외의 시료를 다수 제작하여 5회 측정 후 평균치로부터 파괴전계를 구하였다. 그리고 전도전류 측정은 $10\text{N}/\text{cm}^2$ 의 압력을 가하고 주위를 완전히 차폐시킨 다음 직류전원장치를 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시료의 열처리 시간에 따른 절연파괴특성

가교부산물의 유무가 절연체의 파괴강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시료를 증류수로 세척후 50°C에서 진공건조만 시킨 Normal 시료와 80°C에서 진공건조시킨 Degassed 시료의 파괴강도를 측정하여 Fig. 2, 3, 4에 나타냈다.

Fig. 2는 시편의 계면에 아무런 물질도 도포하지 않은 것들로, 동일조건에서 30분 동안 열처리한 두 시편에서 미리 가교부산물을 제거한 것은 파괴강도가 $106\text{kV}/\text{cm}$ 이지만 가교부산물을 제거하지 않은 것의 파괴강도는 부산물이 제거된 시료의 84.9% 정도로 낮아져 가교 후 시료내에 잔류하는 잔류물의 영향이 크게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 열처리 시간이 길어짐에 따라 가교부산물을 제거하지 않았던 시료도 점차 가교부산물이 휘발 제거됨에 따라 파괴강도는 가교부산물을 제거했던 시료와 거의 동일한 수준으로 접근하는 것을 관측할 수 있었다. 그러나 두 시료 모두 열처리 시간 12시간에서 파괴강도가 낮아지는 특성을 나타냈으며 이들은 열처리에 의한 시료 내부에 잔류하는 각종 이물질등의 농도변화에 의한 시료의 국부적인 캐리어 밀도 변화 등에 의한 영향이다.

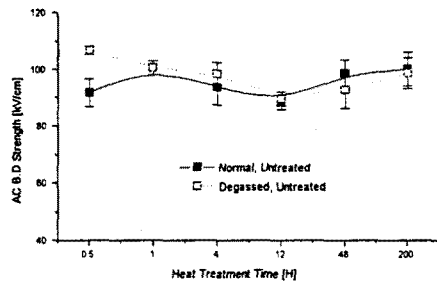


Fig. 2 Effects of heat treatment time on AC B.D strength of normal and degassed XLPE/EPDM with no coating

Fig. 3는 가교부산물을 제거한 것과 제거하지 않은 두가지 종류의 시료를 이용하여 XLPE/EPDM의 계면에 12500cst의 실리콘 오일을 도포한 후의 파괴 강도를 나타낸 것으로 열처리 시간이 짧은 곳에서는 가교부산물을 미리 제거한 것에서 높은 파괴강도를 나타내고 있으며 1시간 이후에는 Fig. 2와 같이 두 시편간의 편차가 거의 나타나지 않고 있다. 그러나 계면에 아무것도 도포하지 않은 시료에 비해 실리콘 오일을 도포한 시료는 열처리시간이 짧은 경우에는 낮은 파괴 강도를 나타내지만 열처리 시간이 길어짐에 따라 4시간 이후에는 파괴강도가 급격히 증가하는 현상이 관측되었다. 이와같은 특성은 계면을 형성하고 있는 두 시료의 표면에 형성되어 있는 보이드나 미세기공이 점차 실리콘 오일에 의해 채워져 파괴강도가 급격히 상승하는 것이다.

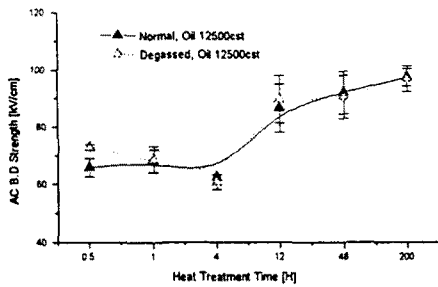


Fig. 3 Effects of heat treatment time on AC B.D strength of normal and degassed XLPE/EPDM with silicone oil 12500cst coating

Fig. 4는 XLPE나 EPDM의 계면에 그리스를 도포하여 파괴특성을 관측한 결과로서 열처리하지 않은 시료에서는 미리 가교부산물을 제거한 시료의 파괴강도가 가교부산물을 제거하지 않은 시료에 비해 20.6% 정도 높게 나타났다. 처리시간이 길어짐에 따라 두시료 모두 파괴강도가 감소하였으나 미처리시료는 30분 경과 후 다시 증가하였으며 가교 부산물을 미리 제거한 시료는 이와 같은 추세가 계속 약 12시간 동안 계속적으로 감소하다가 다시 약간씩 증가하는 것으로 나타났다. 반면 가교부산물을 미리 제거하지 않은 시편에서는 열처리 시간이 30분을 경과하면서 서서히 증가하다가 4시간 이후에는 빠른 속도로 증가하는 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 가교부산물의 제거과정과 열처리 과정에 의해서 나타나는 영향의 두가지 요인에 의

한 것으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 초기에 두시편 모두 열처리에 의해 절연파괴강도가 낮아지는 것은 열처리 과정에서 가교부산물등의 잔류가스 방출에 의한 것으로 80℃의 온도에서 오븐을 진공으로 배기시킴으로서 시료 내부에 잔류해 있던 기포등이 외부로 나오면서 계면방향으로 방출되어 마이크로 보이드를 형성한다. 또한 시료의 제작시 시료의 표면에 생기는 미세한 요철이나 크랙이 형성되어 이들에 유동성이 낮은 그리스가 도포하면서 기포들이 계면에서 미처 빠져나가지 못하여 이들이 마이크로 보이드의 역할을 하게된다.

열처리 시간이 길게 됨에 따라 파괴강도가 다시 증가하는 것은 고온의 열에 의해 유동성이 증가하면서 계면 부근에 형성된 보이드나 크랙들이 채워져감에 따라 마이크로 보이드의 영향이 점차 감소하여 파괴강도가 증가하게 되는 것이며 80℃의 고온에서 진공 처리하였던 시료의 파괴강도 상승이 지연되는 것은 80℃의 고온에서 가교부산물을 제거하는 과정에서 마이크로 보이드나 미세한 크랙이 많이 발생되어 실리콘 그리스가 그 속을 채워가는데 걸리는 시간이 길어지기 때문이다. 그러나 가교부산물을 제거과정을 거치지 않은 시료는 생성된 보이드나 크랙이 앞의 경우보다 작기때문이고 열처리 과정에서 가교 부산물이 많이 방출되기 때문에 그 영향이 많이 나타날 것으로 예상되지만 두 시료를 겹쳐 클램핑한 상태에서 열처리 하므로 계면부분을 통하여 방출되는 가스가 작게 될 것이므로 파괴강도에 미치는 영향이 작게 나타나는 것이다.

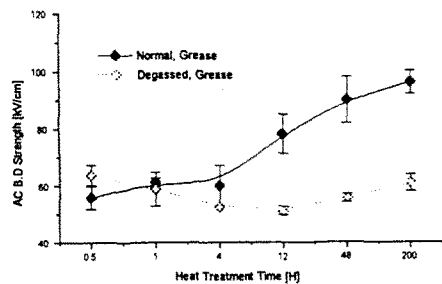


Fig. 4 Effects of heat treatment time on AC B.D strength of normal and degassed XLPE/EPDM with silicone grease coating

3.2 시료의 열처리 시간에 따른 전기전도특성

Fig. 5는 Degassed XLPE/EPDM 시료의 열처리 시간에 따른 전도특성을 나타낸 것이다.

Degassed XLPE/EPDM 사이에 Silicone Oil 12500cst를 도포했을 경우에, 열처리 시간 4시간에서 전도전류가 낮아지는 현상이 있었다. 열처리에 의한 시편 내부에 잔류하는 각종 이물질등의 변화로 인해 시료의 국부적인 캐리어의 밀도가 현저히 낮아지는 것을 알 수 있었다. 4시간 이후에 전도전류가 낮다(pA)는 것은 불평등 전계를 형성하기 위해서는 절연파괴전압이 상승한다는 것을 알 수가 있었다.

Degassed XLPE/EPDM 사이에 Silicone Grease를 도포하였을 경우에, Oil의 경우와 같이 4시간에서 전도전류가 낮아지는 현상이 있었다. 다시 열처리 시간 12시간 이후에 다시 전도전류가 다시 증가하고 다시 열처리 시간이 길어짐에 따라 전도전류가 낮아지게 된다. 4시간에서 낮아지고 다시 상승하는 전도전류를 보면 계면사이의 전류밀도가 상당히 높아져 절연파괴 전압이 낮아지고 다시 열처리 시간(48시간 이후)이 길어짐에 따라 전류밀도가 감소하여 다시 절연파괴전압이 서서히 상승할 것이라는 것을 알 수가 있었다. 전기전도 또한 열처리에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있었다.

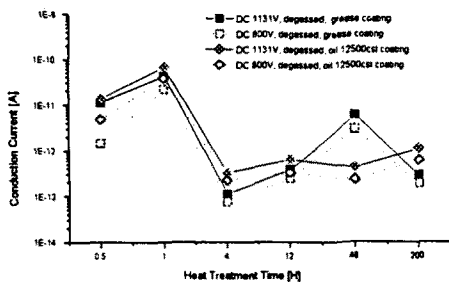


Fig. 5 Effects of heat treatment time on conduction current of degassed XLPE/EPDM laminates

4. 결 론

본 연구는 고압용 전력케이블의 접속시 가교 폴리에틸렌(XLPE)/절연고무(EPDM) 계면에서 계면

의 처리시간에 따른 절연파괴와 전도도 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. EPDM이나 XLPE는 제작시 절연재료 내부에 잔류하는 각종 휘발성의 가교부산물들이 영향을 끼치게 되며 특히 열이 가해짐에 따라 파괴강도에 변화를 주는 것을 알 수 있었다. 또한 12500cst의 실리콘 오일이나 그리스를 계면에 도포할 경우에는 장시간의 고온 열처리에 의해 본래의 절연파괴 강도를 회복할 수 있음을 알 수 있었다.
2. Degassed XLPE/EPDM 사이에 실리콘 그리스와 12500cst 오일을 도포하였을 경우에 전도도를 살펴본 결과, 계면사이의 전류밀도는 48시간 전후에서 상당한 차이를 보였다. 시간이 길어짐에 따라 계면사이의 전류밀도는 상당히 작게 나타났다.

5. 참고문헌

1. "Development of technology for improving interfacial properties of insulating material for power cable" Annual report of Fundamental Power Engineering Cooperation Research Institute (1995. 9.~1996. 8)
2. S.S. Bamji, A.T. Balinski, R.T. Densley, M.matsuki, "Degradation Mechanism at XLPE/Semicon Interface Subhected to High Electrical Stress", IEEE. Transactions on Elect. Ins., Vol. 26, No. 2, 1991, pp. 278~283
3. S.S. Bamji, A.T. Balinski, "Luminescence in Crosslinked Polyethylene of High Voltage Cables", 5th ICPADM May 25-30, 1997, Vol. 1, pp. 11~15
4. W.C.Choi, K.S.Park, S.O.Han, "Breakdown Characteristics of XLPE/EPDM on the treatment condition of the Interfacial layer", 5th ICPADM May 25-30, 1997, Vol. 1, pp. 345~348

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