

HDPE/EVA혼합수지의 혼합 비율에 따른 전기트리특성 연구

정의환, 윤재훈, 이승수, 임기조, 이흥규*
충북대학교 전기공학; 충주대학교*

Investigation on Electrical Tree Characteristics blended at weight of HDPE Mixed with EVA

Eui-Hwan Jung, Jae-Hun Yoon, Seung-su Lee, Kee-Joe Lim, Hung-Kyu Lee*
Chungbuk Univ. Chungju Univ.*

Abstract : In this study, each specimen blended at weight proportions of 80% HDPE to 20% EVA, 70% HDPE to 30% EVA, 60% HDPE to 40% EVA, and 50% HDPE to 50% EVA was manufactured respectively. FE-SEM analysis were carried out as auxiliary analysis means. The insulation performances of the proposed insulator were compared with conventional XLPE, main insulating material of CV cable on the basis of the investigation results of AC insulation performances.

Key Words : HDPE, EVA, Tree, XLPE

1. 서 론

XLPE는 절연성 및 기계적, 열적 특성이 양호하여 1980년대 중반부터 본격적으로 22.9[kV] 지중배전용 전력케이블의 절연재료로 사용되기 시작하여 현재는 원재료의 성능 개선과 제조기술의 향상에 힘입어 154[kV], 345[kV] 및 500[kV]급 초고압(extra high voltage, 이하 EHV) 교류 송배전 케이블용 절연재료로서 적용이 되고 있다. 기존의 고분자절연재료의 개질방식은 유기물 첨가, 첨가제 혼합, 고분자쇄에 적절한 단량체를 그라프트(graft)시키는 방법이 주류를 이루고 있다. 이들 방법의 대부분은 제조 공정에서 혼합되는 불순물, acetophenone, cumyl alcohol, α -methyl styrene과 같은 가교시 발생하는 1, 2차 가교 잔유물, 산화방지제 등과 같은 첨가제의 변질 및 휘발(blooming-out)등에 기인한 체적저항율의 저하, 공간전하 축적, 유전손실의 증가 등 절연열화를 가속시킨다. 이와 같은 다양한 절연열화요인은 교류 또는 직류 전력케이블의 절연층 재료 설계시 시급히 개선해야할 과제로 지적되고 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 XLPE절연재의 가장 큰 문제점인 복잡한 제조공정에서 개입될 수 있는 결함에 의한 절연성능저하에 중점을 두어 상용성있는 열가소성 고분자간의 비가교 방식에 의해 혼합 절연재를 제작하였다. 기존 전력용 케이블의 절연층으로 사용되고 있는 XLPE를 대체할 수 있는 대체 절연재료 개발에 관한 실험적 연구를 수행하고자 하였다.

2. 실험

초록에서 언급한 형태로 제작된 각 시편에 대해 각각 두께 약 1[mm]의 시트 상으로 성형한 후 보이드 및 이물질이 없는 부분만을 취해 중앙에 침전극(곡률반경 5[μ m], 日本東京手工製)을 배치한 후 그 위에 다시 1[mm]의 시트를 적층하고 균일한 두께로 성형하기 위해 핫프레스용 몰드에

넣어 160[$^{\circ}$ C]로 5분간 2600[psi]의 압력으로 가압하여 다소 불투명한 시편의 외관상 선명한 트리 영상관측을 위해 시편의 두께를 1.5[mm]로 얇게 성형하였다.

그림 1과 같이 가로 20[mm]×세로 30[mm]의 크기로 제작하고, 전극간 거리를 2[mm]로 맞추어 제단한 후 평판전극측 접촉부의 전계분포를 균일하게 하기 위해 진공증착기(DSC-300BM, 대한진공 Eng.)를 사용하여 시편하부에 Al을 증착시켰다. 또한, 냉각과정에서 침전극이 밀려나오는 것을 방지하기 위해 시편과 침전극 경계부분을 에폭시계 접착제로 밀봉하였다.

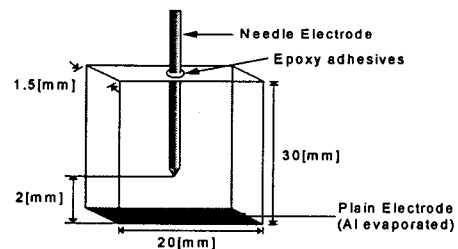


그림 1. 전기트리측정을 위한 시편

전기트리특성실험은 그림 1과 같이 제작된 6종류의 시편을 종류별로 10개씩 제작하고, 연면방전을 최소화시키기 위해 실리콘유(Shin Etsu, 100Cst)가 채워진 PMMA재질의 측정용셀(120×170×100[mm])에 넣고 교류전압을 0.5[kV/min]씩 계단 인가법에 의해 상승시키면서 인가하였다. 각 시편에서 트리가 개시되는 전압을 측정하였으며, 트리개시전압인가 하에서 인가시간경과에 따른 트리진전길이 등을 실시간으로 관측하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 곡률반경이 5[μ m]인 침-평판전극구조 하에서

순수 HDPE, 순수EVA 및 혼합비율이 HE82, HE73, HE64, HE55인 시편을 종류별로 10개씩 제작하고, 0.5[kV/min]의 전압상승속도로 각 시편에 인가하면서 트리가 개시되는 전압을 측정 후 Mason식을 이용하여 트리개시전계로 환산한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 순수 HDPE시편의 트리개시전계는 약 700[kV/mm]였으며, HE82시편은 679[kV/mm], HE73시편의 경우 528[kV/mm], 순수 EVA시편은 432[kV/mm]로 환산되었다. 따라서 XLPE의 트리개시전계 400~700[kV/mm]와 비교해볼 때 순수 EVA시편을 제외한 다른 시편의 트리개시전계는 유사한 경향을 나타냈다.

순수 HDPE시편과 HE82시편을 제외한 다른 시편에서 EVA함량이 많을수록 트리개시전계가 낮게 나타났는데 이는 EVA의 극성기가 공간전하 형성에 기여하고, 전계방향으로 극성기를 갖는 쌍극자가 배향함에 따라 침전극 부근 겉보기 곡률반경을 등가적으로 크게 하여 전계가 완화되는 것으로 사료된다.

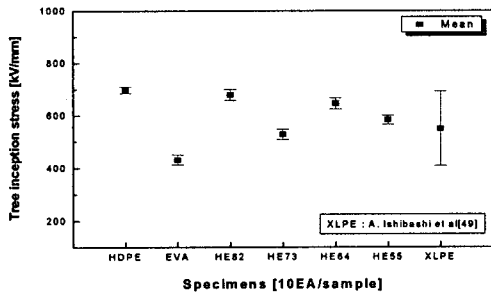


그림 2. 각 시편의 트리개시전계

그림 3은 침전극의 첨단에서 평판전극까지의 거리가 2[mm]이고, 침전극의 곡률반경이 5[μ m]인 각 시편에 트리개시전계를 계속 인가하였을 때 인가시간 경과에 따른 전로파괴가 발생할 때까지의 트리진전길이를 나타낸 것이다. 그림에서 XLPE의 경우 초기 트리진전길이는 50분까지는 거의 변화가 없었으나, 그 후 급속히 진전하여 84분에서 전로 파괴되었다. 순수 HDPE시편에 AC 700[kV/mm]의 트리개시전계를 217분간 인가하였을 때 트리진전길이는 전압인가초기에는 트리발생이 완만하였으나 175분경과 후 비선형적인 트리성장을 관측할 수 있었으며, 217분경과 후 전로 관통파괴가 일어났다. 순수 EVA는 125분까지는 트리진전이 완만한 상승을 보였으나, 그 후 비선형적으로 상승하며, 183분경과 후 절연파괴가 발생하였다. HE82 시편의 경우 트리개시전계 679[kV/mm]를 계속 인가하였을 때 260분경과 후 전로 파괴가 발생하였고, HE73시편은 528[kV/mm]를 인가하였을 때 227분경과 후 전로 파괴가 발생하였다. HE64 시편은 트리개시전계 646[kV/mm]를 계속 인가하였을 때 약 170분경과 후 선형적인 트리성장이 관측되었고, 253분경과 후 절연파괴가 발생되었다. 또한 HE55 시편은 586[kV/mm]의 트리개시전계를 인가하였을 때 전압인가초기에는 트리발생이 완만하였으나 175분

경과 후 비선형적인 트리성장을 관측할 수 있었으며, 247분경과 후 전로 절연파괴가 발생하였다.

따라서 혼합시편 중 HE82와 HE64시편의 트리진전 후 파괴에 이르는 시간이 가장 늦었다. 그 원인으로는 혼합시편의 경우 FE-SEM을 이용한 파단면의 고차구조 분석결과로부터 알 수 있듯이 구정반경이 큰 성(cluster)구조를 갖는 HDPE에 바다(sea)구조를 갖는 EVA가 효율적으로 침입하여 상호망목구조를 형성시켜 미세적 구조를 균질화하기 때문에 트리진전이 억제되는 것으로 판단된다.

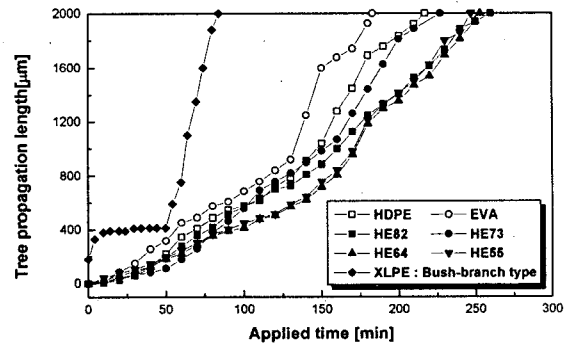


그림 3. 인가 시간에 경과에 따른 트리진전길이

4. 결론

본 연구에서는 각 시편의 전기트리특성을 검토한바 트리개시전계는 순수 HDPE시편은 약 700[kV/mm]였으며, HE82시편은 679[kV/mm], HE73시편의 경우 528[kV/mm], 순수 EVA시편은 432[kV/mm]로 측정되었다.

각 시편에 대해 트리개시전계에서 시간경과에 따른 트리진전길이를 종합적으로 검토한바 순수 HDPE와 EVA는 각각 인가시간이 217분, 183분에서 절연파괴가 발생되었고, HE82와 HE64시편은 트리진전에서 전로파괴에 도달하는 시간이 각각 260분, 253분으로 가장 늦음을 알 수 있었다. 따라서, 혼합시편이 트리진전양상으로부터 기존 XLPE보다 양호한 내트리잉성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] L.A. Dissado, J.C. Fothergill, Electrical Degradation and Breakdown in Polymers, Peter peregrinus, pp.199-311, 1992.
- [2] X. Zheng, G. Chen, "Propagation mechanism of electrical tree in XLPE cable insulation by investigating a double electrical tree structure", IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation, Vol.15 No.3, pp.800-807, 2008.
- [3] A. Ishibashi, T. Kawai and S. Nakagawa, "A Study of Treeing Phenomena in the Development of Insulation for 500kV XLPE Cables", IEEE Trans. EI, Vol.5, No.5, pp.698-700, 1998.
- [4] 한양화학 주식회사 PE연구부, "폴리에틸렌 가공 기술, 폴리에틸렌 구조와 물성"