

국내 원자력발전소 고압케이블의 열적/화학적 물성 평가

이경용*, 정선영*, 강승훈*, 홍동석*, 하체웅**
 대한전선*, 한국수력원자력**

Thermal and chemical property evaluations of high voltage cable for nuclear power plants

Kyoung-Yong Lee*, Sun-Young Jeong*, Seung-Hun Kang*, Dong-Seok Hong*, Che-Wung Ha**
 TAIHAN Electric Wire Co., Ltd.*, Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.**

Abstract - 본 논문에서는 국내 원자력 발전소용 고압케이블의 열화평가를 위해 열적, 화학적 시험을 진행하였다. 최근 설계수명이 종료되는 원자력 발전소와 케이블들에 대한 열화평가 연구가 시작되고 있다. 그러나 현재까지 기초연구 수준에 머물러 있기 때문에 체계적인 열화평가가 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 국내 원전 고압케이블의 열적, 화학적 시험을 통해 기초 물성자료를 구축하고 열화평가에 이용하기 위해 본 시험을 수행하였다.

체를 사용한 1, 2번 원전케이블의 Tm₂는 107[°C] 부근에서 나타났고, Tm₁은 각각 43.63[°C]와 72.01[°C]에서 나타났다. XLPE Tm₁의 경우, 인가된 열이력 분석에 이용되는 케이블의 건조부하온도와 관련이 많다. 따라서 1, 2번의 XLPE 원전케이블은 각각 저온과 고온에서 건조부하과정을 진행한 것으로 추측된다.

1. 서 론

최근 신규 원전의 추가건설과 함께 기존 원전에 설치된 설비의 기기의 수명을 재평가하여 원전의 사용기한을 연장하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있고, 설계수명 30년 또는 40년으로 설계된 국내 가동원전 및 케이블 건전성에 관한 검증 및 열화평가 기술 확보가 현안으로 대두되고 있다. 고리원자력발전소의 경우 10년간 계속운전허가를 받은 고리 1호기를 필두로 고리 2,3,4호기의 설계수명이 종료되고 있다. 이러한 원전 고압케이블은 사고 발생시 복구기간이 길고 이로 인하여 미치는 과급영향이 대단히 크므로 절연열화의 원인분석 및 열화진행 정도를 파악하여 적절한 점검과 교체시기를 결정하여 고장발생을 미연에 방지할 수 있는 기술개발이 요구된다. 그러나 열화평가 정도를 검증할 자료는 거의 갖추어져 있지 않는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 국내 원전 고압케이블 자체의 열적, 화학적 물성을 측정하여 열화평가 기초 물성자료로 이용하기 위해 DSC와 FT-IR 시험을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

본 실험에서 사용된 케이블 재료는 아래 표1과 같다.

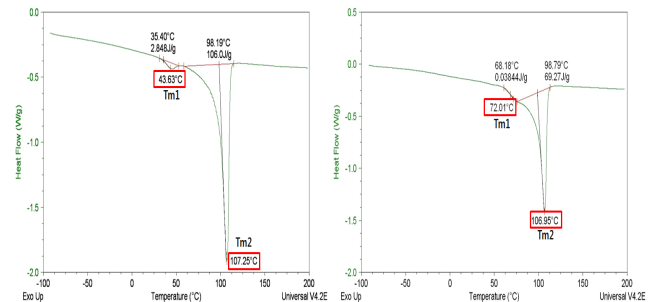
<표 1> 국내 원전 고압케이블 자체

구분		전압
1	3-5kV-XLPE	5[kV]
2	6-5kV-XLPE	5[kV]
3	A-5kV-EPR	5[kV]
4	D-5kV-EPR	5[kV]
5	4-15kV-EPR	15[kV]

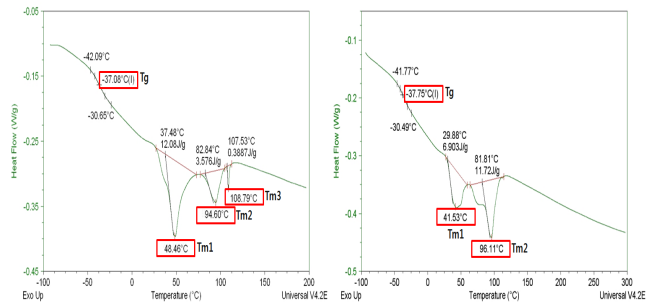
샘플들의 열적, 화학적 특성은 DSC(TA Instrument, DSC Q20)와 FTIR(Thermo Fisher Scientific Inc., FTIR Nicolet 6700)을 사용하여 측정하였다. DSC 실험에서는 10[°C/min]의 승온속도로 Tg와 Tm을 측정하였고, FTIR 실험에서는 산화도를 측정하기 위해 카보닐피크(C=O)를 측정하였다.

2.1 실험 방법

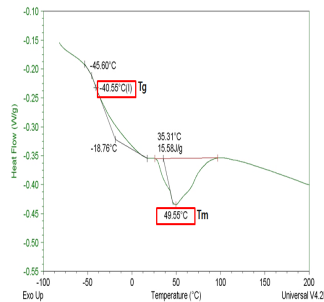
샘플들의 DSC 실험결과는 그림 1과 표 2와 같다. XLPE 절연



(1) 3-5kV-XLPE (2) 6-5kV-XLPE



(3) A-5kV-EPR (4) D-5kV-EPR



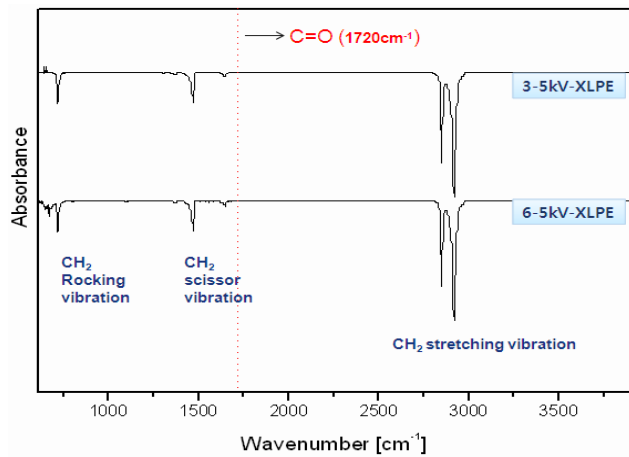
(5) 4-15kV-EPR <그림 1> 국내 원전 고압케이블 자체의 DSC 곡선

반결정성 EPR 절연체를 사용한 3, 4번 원전케이블과 5번 원전케이블에서는 Tg와 Tm이 동시에 측정되었다. Tg는 -40[°C] 부근에서 측정되었지만, Tm은 다양한 온도를 나타내었다. 이는 많은 첨가제와 다른 특성의 고무를 사용한 복잡한 혼합물이기 때문에 Tm이 모두 다르게 나타났다[1-3]. 그리고 케이블의 건조부하온도 관련 열이력 연구는 XLPE 절연체에 국한되어 수행되어 왔다. 따라서 EPR 절연체의 건조부하온도와 관련한 열이력 분석은 향후 추가실험을 통해 분석할 예정이다.

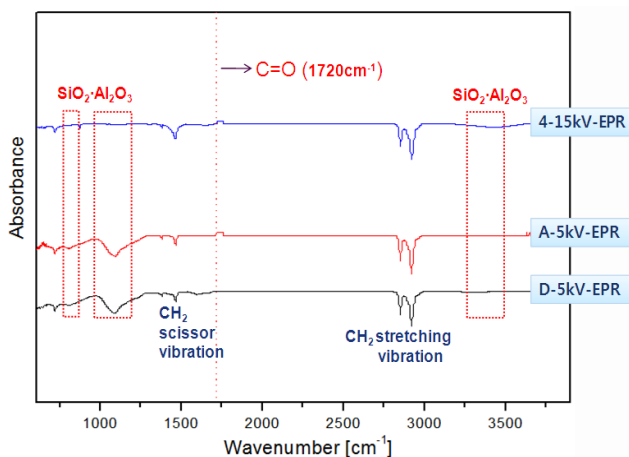
〈표 2〉 국내 원전 고압케이블 자재의 Tg, Tm

구분		Tg[°C]	Tm[°C]
1	3-5kV-XLPE	-	Tm ₁ : 43.63°C Tm ₂ : 107.25°C
2	6-5kV-XLPE	-	Tm ₁ : 72.01°C Tm ₂ : 106.95°C
3	A-5kV-EPR	-37.08°C	Tm ₁ : 48.46°C Tm ₂ : 94.6°C Tm ₃ : 108.79°C
4	D-5kV-EPR	-37.75°C	Tm ₁ : 41.53°C Tm ₂ : 96.11°C
5	4-15kV-EPR	-40.55°C	Tm : 49.55°C

아래 실험결과는 샘플들의 FTIR 결과를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 샘플들의 산화도를 판단할 수 있는 카보닐피크를 측정하고자 하였다. 그러나 모든 샘플들은 카보닐피크가 측정되지 않았지만, 정밀한 산화도를 평가하기 위해서는, FT-IR 이외의 OIT와 TGA 시험법이 요구된다고 판단된다. 그 외 EPR 절연체의 경우 815, 1100, 3400[cm⁻¹] 부근에서 Peak가 나타났고, 이는 EPR의 전기적/기계적 특성을 향상시키기 위해 첨가하는 충전제인 Aluminosilicate의 흡수 peak로 추정된다[1, 4].



(1) 3-5kV-XLPE, 6-5kV-XLPE



(2) 4-15kV-EPR, A-5kV-EPR, D-5kV-EPR
〈그림 2〉 국내 원전 고압케이블 자재의 FTIR 곡선

3. 결 론

지금까지 국내 원전 고압케이블 자재의 DSC와 FTIR 실험결과에 대해 알아보았다. DSC 실험결과, XLPE 절연체를 사용한 1, 2번 원전케이블의 Tm₂는 107[°C] 부근에서 나타났고, Tm₁은 각각 43.63[°C]와 72.01[°C]에서 나타났다. 반결정성 EPR 절연체

를 사용한 3, 4번 원전케이블과 5번 원전케이블에서는 Tg가 -40[°C] 부근에서 측정되었지만, Tm은 다양한 온도를 나타내었다. FTIR 실험에서는 샘플들의 산화도를 판단할 수 있는 카보닐피크가 측정되지 않았지만, 좀 더 정확한 실험을 위해 OIT와 TGA 시험법이 요구된다고 판단된다. 그리고 EPR절연체의 경우 815, 1100, 3400[cm⁻¹] 부근에서 충전제로 추정되는 Aluminosilicate의 Peak가 나타났다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] S. Nilsson, T. Hjertberg, A. Smedberg, "Structural effects on thermal properties and morphology in XLPE", European Polymer Journal, Vol.46, Issue 8, pp.1759-1769.
- [2] N. Celette, I. Stevenson, J. Davenas, L. David, G. Vigier, "Relaxation behaviour of radiochemically aged EPDM elastomers", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Vol.185, Issues 1-4, pp.305-310.
- [3] M. Duval, H. St-Onge, "HPLC And DSC ANALYSIS OF CROSLINKED PE FROM HV CABLES", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.EI-14, No.5, pp.264-271.
- [4] J. Tan, Y.J. Chao, H. Wang, J. Gong, J.W. Van Zee, "Chemical and mechanical stability of EPDM in a PEM fuel cell environment, Polymer Degradation and Stability, Vol.94, Issue 11, pp.2072-2078.