

DSC를 이용한 전력케이블 절연체 열이력 추정법

정선영*, 최아름*, 이경용*, 김동훈*, 강승훈*, 박근룡*, 김도영*, 장우석*,
대한전선*

Estimation of Thermal History in Power Cable Insulation Core Using by DSC Thermal Analysis

Sun Young Jung*, A-Leum Choi*, Kyoung-Yong Lee*, Dong-Hun Kim*, Seung-Hun Kang*, Keun-Ryong Park*, Do-Young Kim*, Woo-Seog Chang*
Taihan Electric Wire Co., Ltd*

Abstract - 본 논문에서는 전력케이블 절연 코어의 열이력을 추정하기 위해 DSC를 이용한 열 이력 분석을 진행하였다. 일반적으로 전력케이블 절연코어에 인가된 열이력은 온도이력, 시간에 따라 그 열적거동이 달라지며^{[1][2]}, 이러한 특성을 이용하여, 제조공정 이력 및 운영시 부하온도 추정이 가능하다. 현재까지 보고된 열이력 추정연구는 XLPE절연체에 국한 되어 있으며, 온도 이력과 시간이 열적거동에 미치는 영향 및 반도체층 자체까지 확대하여 적용한 사례는 거의 보고되어 있지 않다. 본 논문에서는 DSC 모의실험을 통한 절연코어 샘플에 대하여, 열이력 추정 분석법의 유효성을 평가할 수 있었다.

1. 서 론

일반적으로 초고압 전력케이블은 절연성능이 우수하고 가공이 비교적 용이하다는 장점을 가진 가교폴리에틸렌(XLPE)^[3]을 절연체로 사용하고 있으며 반도체층은 카본블랙(Carbon Black)을 갖는 폴리올레핀 수지로 구성되어 있다. 그러나 XLPE 전력 케이블 절연열화 발생시, 열적, 전기적, 기계적 스트레스와 환경적인 요인, 특히, 전기적/열적인 스트레스가 복합되어져 절연 성능이 크게 저하되며, 절연파괴로 이어지게 된다. 이러한 케이블 고장 원인 분석을 위해 일정시간 열이력을 인가하여 XLPE 절연체에 가해진 온도를 추정하는 연구는 보고되어 왔지만, 온도 프로파일과 열이 인가되는 시간에 따른 열이력 거동평가에 대한 연구는 거의 보고되어 있지 않은 실정이다. 또한 반도체층 자체까지 확대하여 열이력 인가 추정법의 유효성에 대한 규명은 거의 전무한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 제조 공정 온도 및 운영온도에 의한 절연체 열화 시 케이블에서 발생하는 열이력을 모의 실험하여, 절연코어 샘플에 해당하는 XLPE 절연체와 반도체층의 열이력 피크를 DSC (Differential Scanning Calorimetry) 분석에 의해 측정하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

실험 재료는 건조공정 전 초고압 케이블에서 슬라이싱한 XLPE 절연체 및 반도체층 재료이다.

샘플들의 열적 특성은 DSC(TA Instrument, DSC Q20)를 사용하여 측정하였다. 건조공정 온도 조건으로는 10[°C/min]의 승온속도로 60, 80, 100, 120[°C]의 온도지점에서 2시간동안 XLPE 절연체에 열이력을 인가시켰으며, 10[°C/min]의 승온속도로 60, 80, 100[°C]의 온도지점에서 2시간동안 반도체층에 열이력을 인가시켜 DSC 분석을 실시했다.

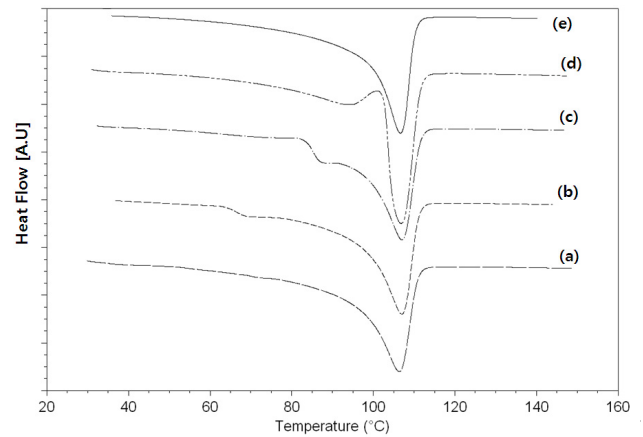
그리고 케이블에 복합적인 부하온도(60[°C], 80[°C])가 일정시간 동안 인가될 경우 발생하는 열이력 거동에 대한 연구 또한 진행하였다.

2.2 실험 결과

일정 시간동안 열이력이 인가된 샘플들의 DSC 실험결과는 표 1과 그림 1,2와 같다.

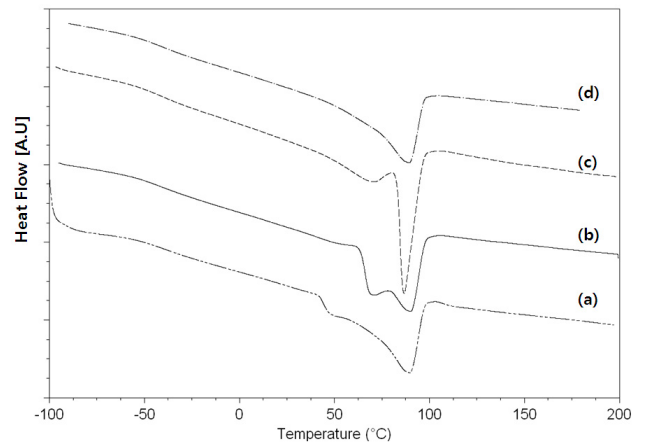
〈표 1〉 케이블 절연체 실험 결과

샘플	Sub-Peak Temp[°C]	T _m [°C]	샘플	Sub-Peak Temp[°C]	T _m [°C]	
XLPE 절연체	a	-	106.35	a	47.72	89.85
	b	68.96	107.07	b	68.76	90.54
	c	87.04	107.14	c	68.64	86.74
	d	93.32	106.98	d	-	89.02
	e	-	106.67			



- (a) 열이력이 인가되지 않은 XLPE 절연체
- (b) 60°C에서 2시간 열이력이 인가된 XLPE 절연체
- (c) 80°C에서 2시간 열이력이 인가된 XLPE 절연체
- (d) 100°C에서 2시간 열이력이 인가된 XLPE 절연체
- (e) 120°C에서 2시간 열이력이 인가된 XLPE 절연체

〈그림 1〉 XLPE 절연체 열이력 거동



- (a) 열이력이 인가되지 않은 반도체층
- (b) 60°C에서 2시간 열이력이 인가된 반도체층
- (c) 80°C에서 2시간 열이력이 인가된 반도체층
- (d) 100°C에서 2시간 열이력이 인가된 반도체층
- (e) 120°C에서 2시간 열이력이 인가된 반도체층

〈그림 2〉 반도체층 열이력 거동

그림 1에서 제시된 XLPE 절연체 a, b, c, d, e 샘플들의 T_m Peak는 106~107[°C] 사이에서 나타났다. 그러나 Sub-Peak에 해당하는 열이력 온도는 각각 다른 결과를 나타내었다. 열이력이 인가되지 않은 a 샘플은 Sub-Peak 거동이 보이지 않았으며, 60[°C], 80[°C]의 열이 인가된 b, c 샘플은 열이력이 인가된 온도보다 7~8[°C]정도 높은 온도구간에서 Sub-Peak를 나타냈다. 그리고 100[°C]의 열이력이 인가된 d 샘플은

Sub-Peak가 b, c에 비해 완만해지는 거동을 보였으며, 120[°C]의 열이력이 인가된 e 샘플은 Sub-Peak가 사라지는 거동을 나타냈다.

그림 2에서 제시된 반도체층 a, b, c, d 샘플들은 유지온도에 따라 서로 다른 거동이 나타났다. 반도체층의 T_m (약 90[°C]) 보다 낮은 열이력이 인가된 a, b, c 샘플은 Sub-Peak가 나타났지만, T_m 보다 높은 열이력이 인가된 d 샘플은 T_m 만 보여지는 거동을 나타냈다.

위와 같은 결과로부터 초고압 케이블 용 자재 XLPE 절연체와 반도체층은 T_m 이하의 온도에서 열이력이 인가될 경우, DSC 분석으로 온도를 추정할 수 있지만, T_m 이상의 온도에서 열이력이 인가되면 Sub-Peak가 사라지면서 T_m 에 해당하는 주용융 Peak 형태가 열이력이 인가되지 않은 샘플보다 Sharp해 짐을 알 수 있었다^{[1][4]}.

3. 결 론

본 논문에서는 초고압 전력케이블 용 XLPE 절연체와 반도체층에 인가된 열이력을 모의 실험하여 인가된 열이력을 추정하였다.

XLPE 절연체와 반도체층은 T_m 이하의 온도에서 열이력이 인가될 경우 Sub-Peak 거동이 나타나며, DSC 분석으로 열이력 온도를 추정할 수 있지만, T_m 이상의 온도에서 열이력이 인가되면 Sub-Peak가 사라지면서 T_m 에 해당하는 주용융 Peak 형태가 Sharp해지고 용점 이상의 부하온도가 인가된 것만 추정할 수 있다. 그리고 용점 이하의 범위에서 XLPE 절연체에 복합적인 부하온도(60[°C], 80[°C])가 가해질 경우, Sub-Peak 거동이 다르게 나타내었다.

이 결과들은 케이블 제조/운영에 있어서, 고장원인 분석의 기초자료로 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Nitta et.al, "An Estimation Method for Thermal History of Cross-Linked PE Cables." Trans. IEEJ, Vol. 94-A No.6. pp.241-245, 1974.
- [2] 이상진, 김영호, 김영성, 박완기 "XLPE 절연체에서의 열이력 추정 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.1575-1577, 1999.
- [3] J.V. Gulmine and L. Akcelrud, "Correlation between structure and accelerated ageing of XLPE", Eur. Polym. J, Vol.42, pp.553-562, 2006.
- [4] L. Boukezzi, A. Boubakeur, C. Laurent, M. Lallouani, "DSC Study of Artificial Thermal Aging of XLPE Insulation Cables", 2007 International Conference on Solid Dielectrics, pp.146-149, 2007.