

열열화 온도에 따른 IV의 수축률 및 조직분석

최충석, 김형래, 송길목, 김항곤, 김동욱, 김동우
한국전기안전공사 부설 전기안전시험연구원

Shrinkage rate and Structure analysis of IV according to Thermal deterioration

Chung-seog Choi, Hyung-Rae Kim, Kil-Mok Song, Hyang-Kon Kim, Dong-Ook Kim, Dong-Woo Kim
Electrical Safety Laboratory Research Institute(ESLRI attached to KESCO)

Abstract - In order to examine the thermal properties of the wire materials, we analyzed the shrinkage, the expansion and the form transformation, the surface structure according to the thermal deterioration temperature through the testing method for a heating shrinkage of Korean Industrial Standard(KS C 3004).

For IV(600V grade polyvinyl chloride insulated wires), we measured the shrinkage and the expansion rate, analyzed the surface structure using SEM(Scanning Electron Microscope). In the result of this experiment, the shrinkage rate of IV 2.0mm covering was high in comparison with other wires. As the deterioration temperature rises gradually, the covering is molten and harden.

전선피복의 수축·팽창과 외형변화 및 표면구조를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

전선피복의 열열화 온도에 따른 수축·팽창현상을 실험하기 위하여 한국산업규격(KS C 3004)의 가열수축 시험방법에 따라 비닐절연전선을 13cm 길이로 절단한 후 그림 1과 같이 전선의 양끝에서 5mm씩 절연피복을 제거하고, 전선의 중앙부에 100mm의 간격으로 표선을 붙여, 관상전기로(ST-1-10, Ahjeon, Korea)에 넣어서 1시간 동안 열화시켰다가 꺼내어 상온에서 한시간 방치한 후 그 표선거리를 식 1에 따라 측정하고, 절연전선의 변화양상을 분석하였다.

1. 서 론

현대 사회는 산업과 정보의 급속한 발달로 인하여 설비 증가와 함께 전기 및 전자 그리고 통신의 매개체로 다양한 전선이 개발되고 있다. 그러나 2000년도의 전기 화재 발생을 보면 11,796건이 발생하여 이중 합선에 의한 화재가 전체의 74.3%인 8,770건으로 가장 높은 점유율로 대부분 전선 자체에서 발생하고 있다. 이는 신설시 설비와 비교하여 생활수준의 향상과 기기의 대형화 그리고 다양한 부하기기가 증가하여 과부하 현상과 노후한 설비 교체가 이루어지지 않고 있기 때문이다[1-2].

전선의 절연재료로는 종이, 섬유, 천연고무, 합성고무, 합성수지, 에나멜 등이 사용되며, 보호피복은 전선의 사용장소 및 목적에 따라 전선도체와 절연체를 보호하기 위해 사용된다. 저압에 사용되는 대부분의 절연전선은 폴리염화비닐(PVC)을 주체로 한 컴파운드를 사용하고 있으며 염소(Cl)를 다량 함유하고 있어 자기소화성이 뛰어나다. 폴리염화비닐은 보통 230~280℃부터 급격한 열분해가 일어나며 250℃ 정도에서는 탈염화수소 반응이 가장 강하게 일어나고 수증기와 작용하여 주위의 금속재료를 부식시키며 400℃ 정도에서 인화(引火)한다. 발화하기 전에 탄화하여 스폰지상으로 팽창하며 연소시 짙은 연기가 발생한다[3-5].

열분해 진행상황은 색변화로 알 수 있으며 초기에는 옅은 황색(淡黃)에서 황등(黃橙), 적등(赤橙), 적갈(赤葛), 흑갈(黑褐)의 순으로 변하고 연속사용에 견딜 수 있는 온도한계는 55~75℃이다. 한냉시의 경화를 방지하기 위하여 초산비닐과 공중합시키거나 가스제를 혼합하는데 이로 인해 원래의 내열성이나 난연성이 떨어지게 된다[6]. 최근에는 무독성, 불연, 난연 등을 목적으로 하는 고분자 신소재의 개발이 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 전선피복의 열특성을 규명하기 위하여 IV 피복의 수축률 실험을 통하여 열열화 온도에 따른

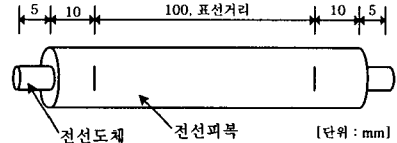


그림 1. 가열수축 시험시편의 제작

전기로에 의한 전선의 열열화 온도 T(℃)는 각각 100℃, 130℃, 140℃, 150℃, 160℃, 165℃, 170℃, 180℃, 190℃, 200℃, 210℃이며, 온도제어는 그림 2와 같이 PID controller를 이용하여 제어하였다.

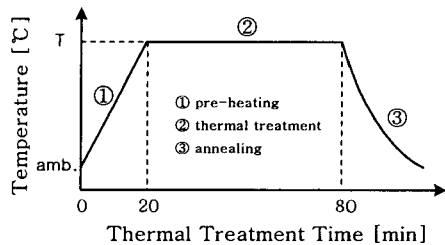


그림 2. 전선의 열열화 조건

식 1 ----

$$\text{수축률}(\%) = \frac{100(\text{mm}) - \text{가열후의 값}(\text{mm})}{100(\text{mm})} \times 100$$

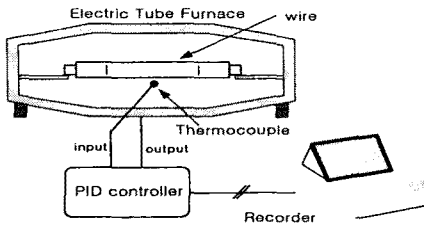


그림 3. 전선피복 가열 수축 실험장치 구성도

표 1 가열수축 실험에 사용된 절연전선의 종류

전선의 종류	전선의 크기	관련규격
IV(600V 비닐절연전선)	1.6mm×1C	KSC 3302
	2.0mm×1C	
	5.5mm ² ×1C	

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 전선별 수축률 분석

IV 1.6mm, 2.0mm, 5.5mm²의 열화 온도에 따른 전선의 수축률 특성을 분석한 결과 다음과 같았다.

그림 4는 전선을 전기로를 이용하여 일정시간 동안 열화시킨 것으로, 좌로부터 정상시료(normal), 100℃, 130℃, 140℃, 150℃, 160℃, 165℃, 170℃, 180℃, 190℃, 200℃, 210℃로 열화된 전선을 나타내었고, 온도에 따른 외형변화와 수축률을 표. 2에 나타내었다.

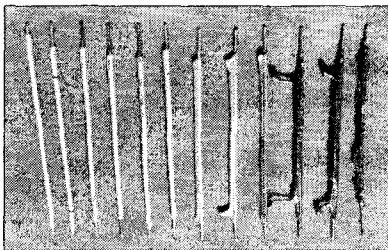


그림 4. IV 2.0mm 전선의 온도에 따른 외형변화

표. 2 온도에 따른 전선의 외형변화와 수축률

(IV 2.0mm)			
온도	도색	피복	수축률 (%)
normal	구리색	녹색	0.00
100℃	약간 살색	녹색	2.02
130℃	짙은 갈색	녹색	10.53
140℃	짙은 자주색	용융시작(끝부분)	14.20
150℃	짙은 보라색	용융(끝부분)	11.67
160℃	짙은 보라색	용융(끝부분)	10.92
165℃	금색	용융(전체)	11.63
170℃	흑갈색	녹아내림(끝부분)	9.43
180℃	흑갈색	짙은 녹색	측정불가
190℃	흑갈색	상부에 작은 흠 형성	측정불가
200℃	흑갈색	상부에 다수의 흠 형성	측정불가
210℃	검게 변색	심하게 탄화됨	측정불가

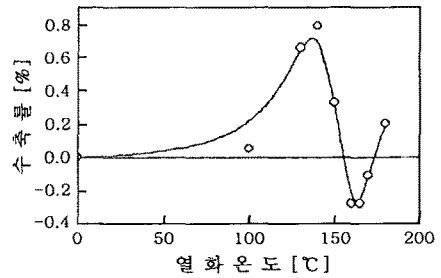
2.2.2 열화온도에 따른 전선별 수축률 특성비교

그림 5는 각 전선에 대한 수축률을 그래프로 나타낸 것으로 전선피복의 수축과 팽창은 온도에 따라 차이를 나타냈으며, 온도가 상승함에 따라 점차 전선피복이 열화되어 용융되고 경화됨을 알 수 있었으며 도체색도 점차 변색되었다.

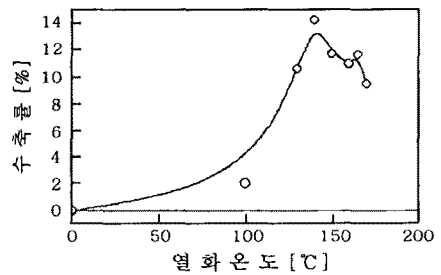
(a)는 IV 1.6mm 전선의 피복 수축률 경향으로 140℃에서 가장 큰 수축률을 보였으며 전체적인 수축률은 1% 미만의 미미한 변화가 일어났으며 일부 온도에서는 피복이 팽창하는 구간도 있었다.

(b)는 IV 2.0mm 전선의 피복 수축률 경향으로 다른 전선과 비교하여 가장 높은 수축률을 나타냈으며 140℃에서 14.2%로 최대의 수축률을 보였고 130℃에서 170℃까지 10%이상의 수축률을 보였다.

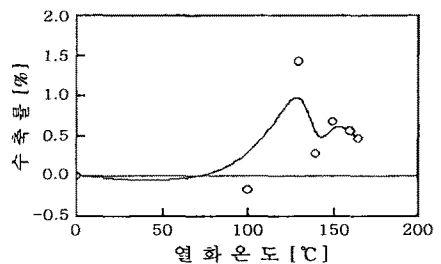
(c)는 IV 5.5mm² 전선의 피복 수축률 경향으로 130℃에서 가장 큰 수축률을 보이다가 이후 다소 수축률의 변화가 있었으나 1% 미만의 미미한 변화가 나타났다.



(a) IV 1.6mm



(b) IV 2.0mm



(c) IV 5.5mm²

그림 5. 열열화 온도에 따른 전선피복의 수축률 경향

그림 6은 SEM(JSM-6400, Jeol, Japan)을 이용하여 열화 온도에 따른 IV 2.0mm 전선피복의 표면구조를 분석한 것이다.

(a)는 정상상태(normal)의 전선피복으로 가로방향의 입자구조가 나타났다.

(b)는 100℃로 열화된 전선피복으로 정상상태의 피복과는 약간의 다른 가로방향의 입자구조로 간격이 좁아지

고 세밀한 형태를 보여준다.

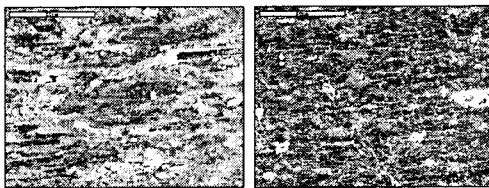
(c)는 120℃로 열화된 전선피복으로 가로방향의 입자 구조에 불규칙한 형태의 홀들이 형성되었으며 이는 피복 재료에 함유된 고분자 성분의 일부가 열에 의해 이탈된 것으로 추정된다.

(d)는 140℃로 열화된 전선피복으로 주름모양의 구조가 불규칙하게 형성됨을 볼 수 있다.

(e)는 160℃로 열화된 전선피복으로 가로방향으로 미세하게 줄이 그어진 형태를 보여준다.

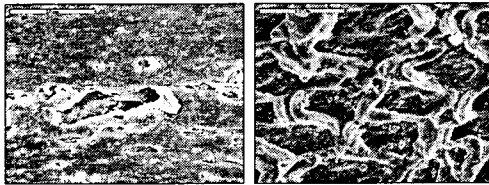
(f)는 180℃로 열화된 전선피복으로 피복이 경화되고 홀(hole)과 불규칙한 크기의 입자구조가 형성됨을 볼 수 있다.

(g)는 200℃로 열화된 전선피복으로 새로운 형태의 입자들이 표면을 덮고 있음을 알 수 있다.



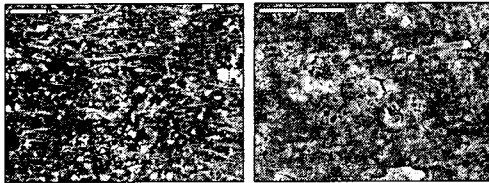
(a) normal

(b) 100℃



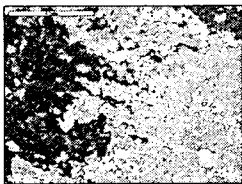
(c) 120℃

(d) 140℃



(e) 160℃

(f) 180℃



(g) 200℃

그림 6. IV 2.0mm 전선피복의 표면구조

3. 결 론

열화 온도에 따른 전선피복의 수축 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) IV 2.0mm의 경우, 130℃~170℃까지 전체적으로 10% 이상의 큰 피복 수축률을 나타냈으며, 165℃부터는 피복이 녹아내리기 시작하여 190℃부터 전선피복에 홀(hole)이 형성되었고 210℃에서 완전히 탄화됨을 볼 수 있었다.

2) SEM을 이용하여 표면구조를 분석한 결과, 열화온도가 상승함에 따라 피복이 점차 용융되면서 경화됨을 알 수 있었다.

3) 온도에 따른 전선별 수축률 경향을 분석한 결과, 전선에 따라 약간의 차이가 나타났으나 IV 2.0mm는 다른 전선과 비교했을 때 가장 큰 수축률을 나타냈다. 이는 연선보다 단선이 그리고 전선이 굵을 수록 열방사가 안되며 열축적율이 높기 때문이다.

이상과 같은 실험으로 열에 의해 소손된 전선피복의 열화정도를 판단하는데 중요한 자료가 될 것으로 사료된다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전기안전공사, "A Statistical Analysis on the Electrical Accident" 10th edition pp. 8~55, 2001
- [2] 최충석 외 3, 열적 스트레스 변화에 따른 600V 비닐절연 전선의 특성 분석, 한국화재소방학회 논문집, pp.108~115, 2001
- [3] 김홍재 역, 열화비닐수지, 대광서림, pp. 1~2, 1995
- [4] 上山 勝, 有機絶緣物の絶緣破壊(トラッキング)による炭化生成物の結晶性について, 科學警察研究所報告, Vol.28, No.2, pp.44~47, 1975
- [5] 三橋信雄, 絶緣破壊電線の劣化履歴と火災危険について, 日本 火災學會誌, Vol.31, No.1, pp.11~19, 1981
- [6] Ettlting, B. V., Electrical Wiring in Building Fires, Fire Technology, pp.317-325, 1977