

D-3

전력용 케이블의 연기유독성 실험

김운형, 김종훈, 민인홍*, 전동일*
경민대학 소방안전관리과, *(주)스타코

A Smoke Toxicity of Electric Power Cable.

Woon Hyung Kim, Jong Hoon Kim, In Hong Min*, and Dong Ill Jeon*
*Kyung Min College Dept. of Fire Safety Management, *STARCO, Ltd.*

1. 케이블의 연기 위험성

지하공동구 화재는 국가 기간 시설에 대한 직접적인 피해로 많은 사람들에게 엄청난 불편과 피해를 주게 된다. 몇 차례의 국내 공동구 화재사례에서도 알 수 있듯이 발화 시 내부의 열기와 유독성가스가 포함된 연기의 배출이 어렵기 때문에 진압, 복구 작업에 장애가 된다. 이러한 배경에서 본 연구는 전력용 케이블의 연소성을 분석하고자 한다.

2. 실험 개요

(1) 목적과 실험기준

케이블의 표면재료 연소로 인해 발생될 유독성가스의 정량적 위험성 평가를 위하여 NES 713 (British-Naval Engineering Standard)을 적용하였다.

(2) 실험과정

1) 시편

국내 지중 전력공급 케이블망에 상용되는 고압전선은 전압에 따라 22.9kV, 154kV, 345kV 등으로 구분된다. 이러한 고압전선의 피복은 대부분 폴리에틸렌(Polyethylene)이 주재료이며, 본 실험에서 시편으로 사용된 것은 국내 전력공급을 위해 사용되는 케이블 (154kV)에서 직접 외부피복을 벗겨내어 얻어진 것이다.

2) 실험장치

① 연소가스분석장치 (NES713) : 실험장치는 체적 0.96m²인 연소챔버, 분젠버너(높이 125mm, 구경 11mm), 연소챔버벽면에 가스검지관 삽입구, 강제배출장치, 혼합팬, 가스 및 공기조절하는 유량조절장치, 시편지지대, 시간측정장치 등으로 구성되어 있다.

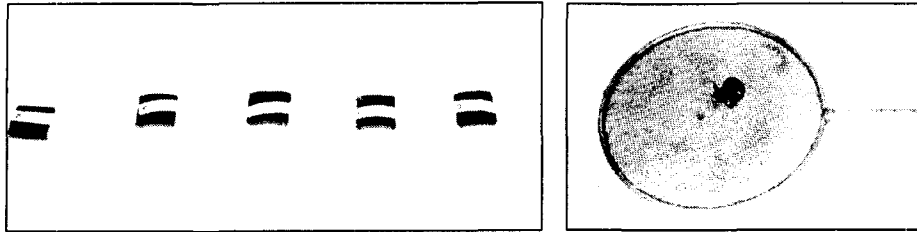


그림 1. 시료 및 연소 후의 상태

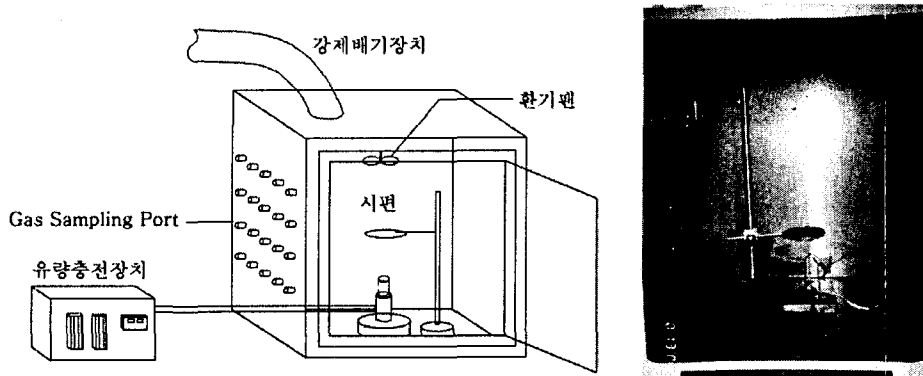


그림 2. NES 713에 의한 내장재료 연소가스 실험장치와 내부 모습

② 유독성 측정장치 (ECOM) : Gas 농도에 반응하는 센서를 이용하여 발생하는 전기적 신호를 자동으로 농도로 변환하는 것으로 센서의 온도범위는 +5에서 +40℃의 범위 내에서 보정된다. 주 측정가스는 O₂와 CO이고 추가적으로 NO, NO₂, SO₂를 측정할 수 있다.

③ 검지관 : 가스검지관은 내경 2~4mm의 글라스관중에 발색시약을 흡착시킨 검지제(檢知劑)를 충전하여 관의 양끝을 용봉한 것이다. 사용시 양끝을 절단하여 가스채취기로 시험가스를 도입한 후 착색층의 길이 또는 착색 정도에 시험가스의 농도를 측정한다.

3) 실험절차

연소챔버 벽면에 가스검지관 삽입구를 통하여 가스검지관을 삽입하고 연소챔버의 문을 닫고 버너에 연료를 공급과 동시에 점화시킨 다음 시간을 측정하였다. 연소시간은 시편이 완전 연소 될 수 있는 충분한 시간동안 작동하며, 이 시간을 기록하고 버너를 끈 후 30초 동안 혼합 팬을 작동 시킨후, 즉시 연소챔버로부터 각각의 가스검지관을 통하여 차례로 가스를 뽑아내는 가스 샘플링을 개시하였다. 가스분석이 끝나면 즉시 문을 열고 강제배출장치를 통하여 연소챔버내의 잔류 연소생성물들을 배출시키고 강제배출은 3분 이상 지속하였다.

가스농도 분석장치(ECOM-JN)으로 측정된 경우, 두 결과를 식(1)을 이용하여 100g이 연소하여 발생된 각각의 가스농도와 체적 1m²중의 공기중에 확산된 각각의 가스농도를 계산하였다. 실험결과 3회의 C₀ 값을 평균한 값으로 한다. 단 CO, CO₂, NO_x 가스농도는 실험 전 연소 챔버 내에서 버너의 불꽃을 1,150±50℃로 조정된 다음 점화하고 1분

동안 자유 연소시킨 후 연료를 차단하고 30초동안 혼합 팬을 작동시킨 후 CO, CO₂, NO_x 가스농도를 분석(보정값)하고, 최종결과의 값은 C_θ에서 CO, CO₂, NO_x 보정 값을 제외한 값으로 했다.

$$C_{\theta} = \frac{C \cdot 100 \cdot V}{m} \tag{1}$$

C_θ : 분석된 가스농도 (ppm) m : 시편 질량 (g)
 C : 연소챔버의 가스농도 (ppm) V : 연소챔버의 체적 (m³)

3. 실험 결과 및 분석

3.1 검지관 분석

산소가 충분히 공급되는 조건에서 실험을 실시하였다. 식(1)을 이용하여 환산한 연기 농도는 표 2와 같다.

표 2. 검지관 측정 결과

시험 회수	시료 2cm × 2cm	CO ₂	CO	NOX	HCl	연소시간
1	1.7g	1.0%	60ppm	4.0ppm	7ppm	2분 45초
2	1.6g	1.0%	60ppm	4.0ppm	10ppm	2분 48초
3	1.7g	0.5%	30ppm	2.0ppm	10ppm	2분 10초
4	1.7g	1.0%	60ppm	4.0ppm	8ppm	2분 40초
5	시료가 없는 경우	0.8%	0ppm	2.5ppm	1ppm	2분 40초

표 3. 실험 결과에 따른 가스 농도 (체적 0.96m³)

시험 회수	시료	CO ₂	CO	NOX	HCl	비고
1	1.7g		3388.24ppm	225.88ppm	395.294ppm	
2	1.6g		3600ppm	240ppm	600ppm	
3	1.7g		1694.12ppm	112.94ppm	564.706ppm	
4	1.7g		3388.24ppm	225.88ppm	451.765ppm	
1,3,4의 평균			3458.83ppm	230.59ppm	482.35ppm	

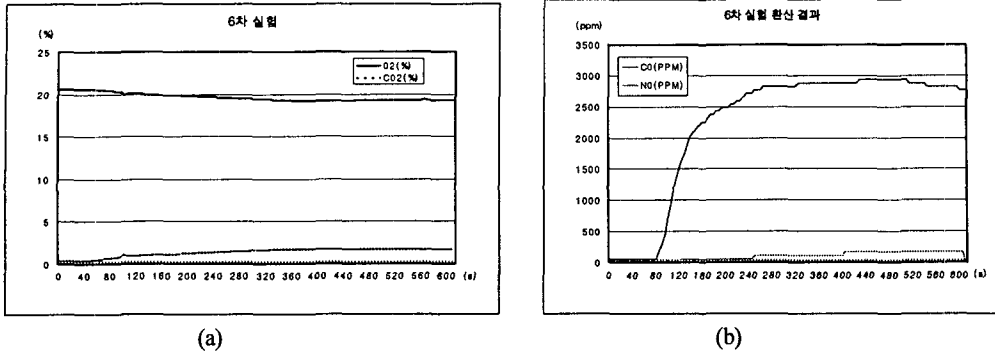


그림 3. 6차 실험에서 시간에 따른 O₂, CO₂의 %와 CO, NO의 ppm 변화 7차 실험

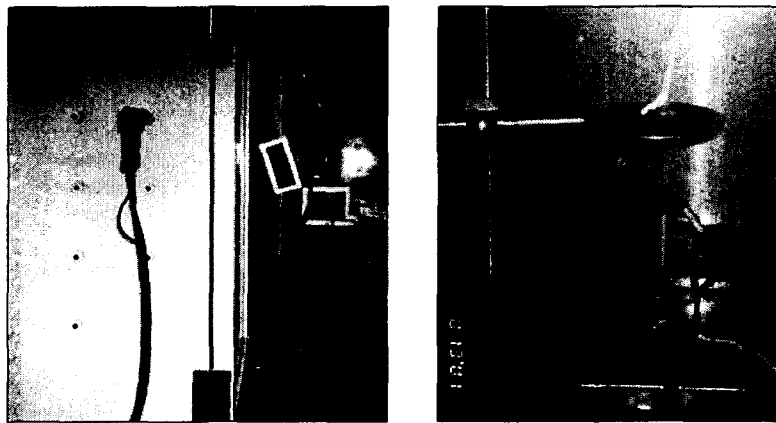


그림 4. 가스측정 장치의 삽입과 시료의 연소장면

3.2 가스측정기 분석

본 실험은 산소를 공급하지 않는 조건에서 가스분석장치인 ECOM-JN을 사용하여 5회에 걸쳐 농도를 측정하고 이를 위의 식으로 환산하였다. 6차 실험에서 CO의 농도는 430초에서 510초 동안 2936.47ppm을 유지하여 BSI에서 제시된 30분 노출시 사망농도인 300ppm에 근접한 결과를 보여 주었다. NO의 경우 405초 이후 169.4ppm을 계속적으로 유지하였다.

4. 소결

케이블의 연기 유독성을 실험한 결과, 인체에 치명적인 CO의 경우 30분 노출시 사망에 이를 수 있고 의식불명상태가 될 수 있는 수준으로 판정되었다. NOx의 경우 NES713 기준으로 불 때 30분 노출에 사망에 이를 수 있는 수준이며, HCl은 30분 노출에 의식장애를 유발할 수 있는 농도를 나타내었다. 따라서 소방관의 진압 및 신속한 복구 작업을 위하여 공동구에서 화재가 발생한 경우 최단 시간에 신속하고 완전하게 진압할 수 있는 자동식 소화 시스템의 설치가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. NES 713 (Naval Engineering Standard 713), "Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials Issue 3", (March, 1985)
2. 김운형, 김현우, 현성호, 이창우, 건축재료의 연기 위험도 실험, 한국화재소방학회 춘계 학술발표회, (2000. 4)
3. David A. Purser, "Toxicity assesment of combustion", SFPE Handbook of Fire protection engineering, pp. 1-245, (1990)
4. 함상근, 김 흥, 한상범, 김운형, "아파트 마감재의 연기 유독성", 한국화재소방학회지, 제13권, 제3호, (2001)