

소방용 전선의 연기밀도특성에 관한 연구

윤현주, 유동일, 사공성호, 김학진
한국소방검정공사

A study on the Smoke Density Characteristics of Fire Cable

Hun-Ju Yoon, Dong-Ll Yoo, Sung-Ho Sagong, Hak-Jin Kim
Korea Fire Equipment Inspection Corporation

1. 서론

화재 발생 재해요인의 가장 큰 비중을 차지하는 것이 전기화재이다. 이러한 전기화재는 1991년도부터 2002년도까지 10년 동안 화재발생 1순위를 차지하고 있으며 전기 기기나 전력설비사용의 증가와 함께 점점 화재건수가 증가하고 있으며 이로 인한 인명피해 및 재산피해는 물론 국가 경제에도 크나큰 손실을 주고 있으므로 이에 대한 대책요인으로 사회 전반적으로 환경보전의 움직임 추세에서 전선·케이블에 대해서도 환경에 대한 배려가 강하게 요구되어 있고, 유해 화학 물질을 사용하지 않고, 유해 폐기물을 내보내지 않는 제품을 개발하여 환경에 영향을 주는 영향을 감소하는 환경조형제품(Environmentally Conscious Product : ECP)의 개발이 중요한 과제로 대두되고 있다[85]. 소방용 난연특성 전선의 성능평가를 하기 위하여 화재 발생시 전선재료인 고분자 재료의 연기밀도와 유독성 실험을 수행하였다. 이중 전력용케이블의 절연열화에 의한 과열로 케이블피복부에 착화 및 전기합선으로 인한 화재사고를 방지하기 위하여 수산화마그네슘의 수산화 금속무기물을 사용하여 화염에 노출되었을 때 불꽃을 억제하는 NFR-8과 일반적으로 널리 사용하고 있는 PVC, FR-8 전선을 대상으로 ASTM E 662에 의한 연기밀도 측정과 연소가스농도를 측정하여 유독성가스로 인한 인명피해감소 및 전기화재 징후의 조기 발견에 의한 화재를 미연에 방지하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

시이스(Sheath)의 두께를 0.5, 1, 1.5[mm], 크기 75×75[mm]의 크기로 연기밀도 시료를 각각 제작하였다. ASTM E 662(고체물질에서 발생하는 연기의 특성광학밀도)에서 규정된 시편대에 시험 중 시편이 시편대에 녹아 붙지 아니하도록 하기위해 시편대와 시편이 조각이 겹치는 부분에 0.04[mm]의 알루미늄 박판을 설치한 후 고정을 한 다음, 시험편을 부착하지 아니한 시편대를 시험대 위치에 고정시킨 다음 가열로를 점화하여

조사 열량이 $2.5 \pm 0.05 [W/cm^2]$ 가 되도록 조정 한 후 광선투과장치와 시험기록계를 작동 시킨 다음 장비를 기준점을 조정한다. 시험장치의 가열로 인가전압을 조정 한 후 광선투과장치를 작동함과 동시에 시험장치의 배출구를 차단하고, 시편을 부착한 시편대로 교환한 다음 시험개시 20분동안 가열로를 소화한 다음 연기밀도를 다음과 같은 식에 의해 연기밀도를 산출하였다.

$$D_s = \frac{V}{AL} \times [\log \frac{100}{T} + F] \quad (1)$$

여기에서 T 는 광선투과율[%], D_s 는 광학밀도, F 는 광선투과때 필터를 사용하면 "0", 필터를 사용하지 않으면 "1", A 는 시편의 노출 면적[m²], L 은 광선투과 길이[m], V 는 시험장치의 챔버체적이다[m³]이다.

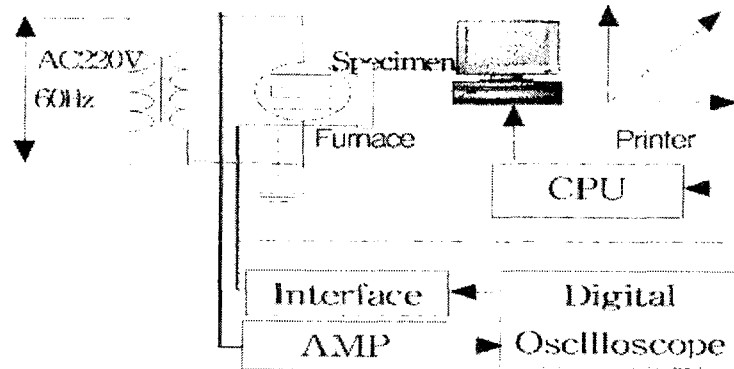


그림 1. 연기밀도 감지시스템의 실험장치 블록선도

그림1은 연기밀도 감지시스템의 실험장치 블록선도를 나타내었으며 그림 2는 ASTM E 662에서 규정한 연기밀도 시험장비를 나타내었다. NFR-8, FR-8, PVC의 시이스(Sheath)의 두께를 0.5, 1, 1.5[mm], 크기 75×75[mm]의 크기로 연기밀도 시료를 각각 10개씩 제작하여 연기밀도 시험을 하였다. 이때 생성되는 연기밀도와 생성되는 가스를 분석하여 측정을 하였다.

시료의 연소가스 분석을 위해 체적 0.96[m³]에 시료의 크기 2×2[cm], 무게 5[g]으로 하여 중앙에 위치한 시편 지지대에 올려놓고 메탄가스를 사용하는 분젠버너의 온도를 1,150±50[°C]를 유지하도록 불꽃의 길이 100[mm], 메탄가스 10[l/min], 공기15[l/min]을 유지시키고 시편에 노출시켰다. 이때 연소 챔버의 밀폐를 확인하고 강제배출장치가 꺼져 있는지 확인한 다음 버너에 연료를 공급함과 동시에 점화시킨 다음 시료를 연소시킨 후 연료를 차단한 후 가스농도를 회색시키기 위해 30초 동안 팬을 동작시킨 후 가스분석기를 이용하여 CO, CO₂, HCl, NO₂, SO₂를 측정하였다. 따라서 본 연구에서는 환경오염을 예방하고자 PVC소재에 halogen계 난연제를 첨가하여 사용하고 있는 전선소재를 대체하기 위하여 non-halogen 고난연 피복소재를 이용하여 피복재를 연기밀도 특성을 분석 및 시료의 유해가스

분석을 하였다.

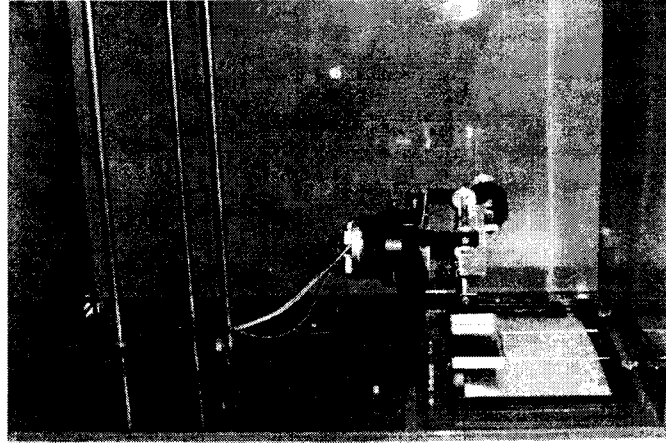


그림 2. 연기밀도 실험장치

$$C_{\theta} = \frac{CV}{m} \times 100 \text{ [ppm]} \quad (2)$$

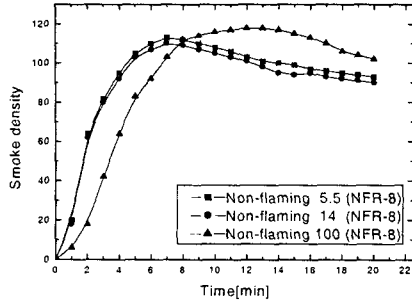
여기서, C_{θ} 는 각각의 분석된 연소가스농도 [ppm], m 는 시료의 질량 [g], V 는 챔버용적 [m^3], C 는 연소가스 포집백내의 연소가스농도[ppm]을 말한다. 독성지수(Toxicity Index : TI)는 식(2)에 의하여 계산된 연소가스 농도에 의하여 계산식(3)에 의해 계산하였다.

$$\text{독성지수(T.I.)} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{\theta 1}}{C_A} + \frac{C_{\theta 2}}{C_B} + \frac{C_{\theta 3}}{C_C} + \dots + \frac{C_{\theta n}}{C_n} \quad (3)$$

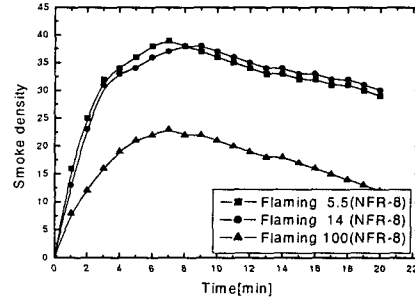
여기서 1,2,3.....n 은 각 연소가스, C_f 는 30분간 노출시의 치사농도를 말한다.

3. 실험결과

그림 3에 NFR-8 시료에 대한 각 시료의 연기밀도를 나타내었다. Non-flaming 방법에 의한 시료의 연기밀도는 초기 0~10분 사이에 급격한 증가를 보이며 상승하다가 측정 종료인 20분에는 90~105의 연기밀도 발연량의 분포를 보인 반면에, Flaming방법에 의한 연기밀도의 분포 양상은 초기에 급격한 연기밀도의 상승을 가져오며 측정종료 20분에는 12~30의 연기밀도 발연량의 분포 양상을 보였다. 그림 4에서는 일반적으로 사용하고 있는 전선 피복재에 대한 폴리염화비닐(PVC)수지의 연기밀도를 나타내었다. Non-flaming 방법에 의한 시료의 연기밀도는 290~330의 연기밀도 발연량의 분포를 보인 반면에, Flaming방법에 의한 연기밀도의 분포 양상은 초기에 급격한 상승을 가져오며 측정종료 20분에는 160~180의 연기밀도 발연량의 분포를 보였다.

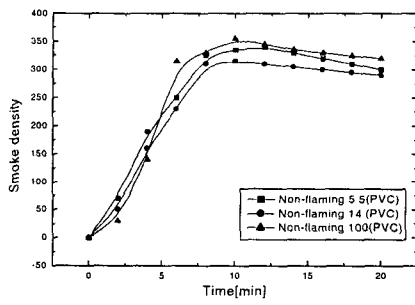


(a) Non-flaming 방법

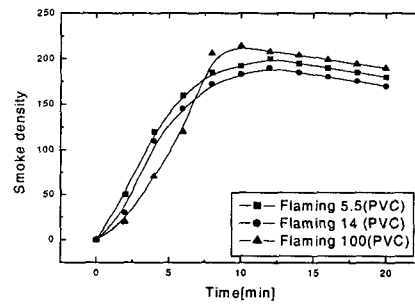


(b) Flaming 방법

그림 3. NFR-8 시료의 연기밀도

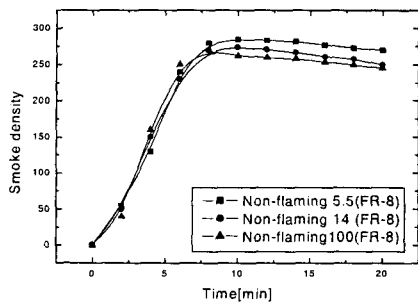


(a) Non-flaming 방법

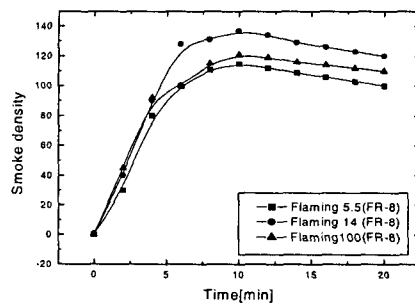


(b) Flaming 방법

그림 4. PVC 시료의 연기밀도



(a) Non-flaming 방법



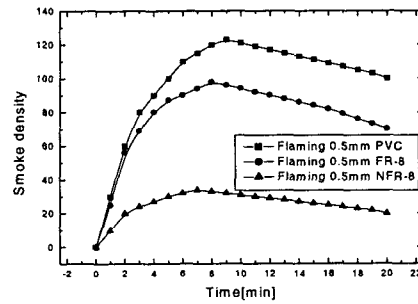
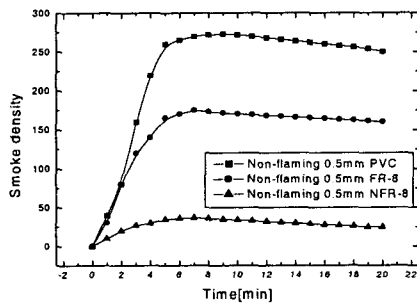
(b) Flaming 방법

그림 5. FR-8 시료의 연기밀도

또한 PVC수지의 지속적인 열화현상 방지와 화재안전상의 목적으로 첨가하는 유독

성의 할로젠계 난연제를 첨가하는 FR-8 시료의 발연량을 측정하여 그림 5에 나타내었다. Non-flaming 방법에 의한 FR-8 시료의 연기밀도는 240~270의 연기밀도 발연량의 분포를 보인 반면에, Flaming방법에 의한 연기밀도의 분포 양상은 100~120의 연기밀도의 분포를 보였다.

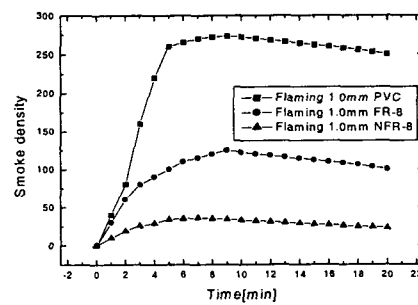
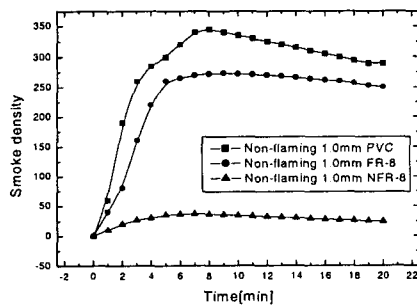
그림 6에서 Non-flaming 방법에 의한 NFR-8, FR-8, PVC 시료의 두께를 각각 0.5[mm]로 하여 비교 측정하였다. 측정된 연기밀도는 0~10분 사이에 급격한 증가를 보이며 35, 175, 270의 값까지 연기밀도가 최대로 상승하다가 측정 종료인 20분에는 25, 160, 250의 연기밀도 발연량의 분포를 보였다. Flaming방법에 의한 연기밀도는 시료의 두께 0.5[mm]에서 30, 100, 125의 값까지 연기밀도가 최대로 상승하다가 측정 종료 20분에는 20, 70, 100의 연기밀도의 분포를 보였다. 이로써 연기밀도의 분포는 Non-flaming 및 Flaming에 의해 시료의 두께를 각각 0.5 1.0, 1.5[mm]로 하여 측정할 결과 측정된 연기밀도 값은 NFR-8→FR-8→PVC로 갈수록 Flaming에서보다는 Non-flaming에 의한 방법이 연기밀도의 값이 크게 나타남을 알 수 있었다.



(a) Non-flaming 방법

(b) Flaming 방법

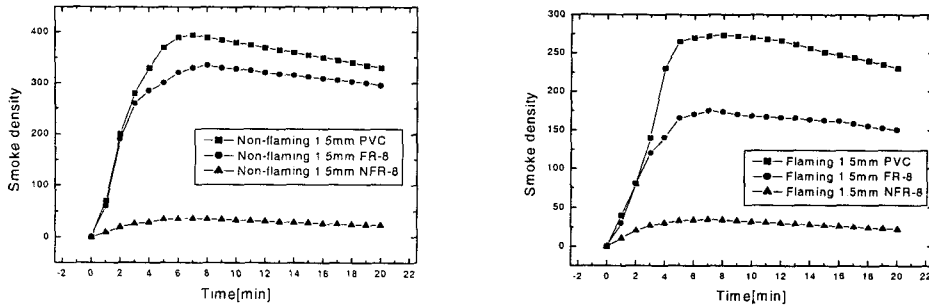
그림 6. 시료별 두께 0.5[mm]에 대한 연기밀도



(a) Non-flaming 방법

(b) Flaming 방법

그림 7. 시료별 두께 1.0[mm]에 대한 연기밀도



(a) Non-flaming 방법 (b) Flaming 방법

그림 8. 시료별 두께 1.5[mm]에 대한 연기밀도(Non-flaming)

이러한 결과로부터 연소시 연기 할로젠화수소가스(HCL)등의 유해한 부식가스를 다량 발생하여 인체에 영향을 미치는 영향을 줄이고자 할로젠계(F, CL, BR, I) 원소가 포함되지 않은 약품을 사용하여 제작된 수산화마그네슘(Mg(OH)₂) 인계 Non-halogen계 난연제를 사용한 시료가 범용적으로 사용하는 폴리염화비닐(Polyvinyl chloride : PVC)수지와 전선의 피복재료인 PVC에 난연제의 약품을 첨가하여 자기소화성과 불꽃을 억제하기 위해 제작된 FR-8 시료보다 고도의 난연성을 갖고 화재시의 발연성이 극히 적은 연기밀도의 발연량을 확인하였다.

표1.연소가스농도

Combustion Gas	Poison Gas[ppm]		
	NFR-8	FR-8	PVC
CO ₂	43,500	125,400	46,300
CO	1,400	1,900	5,500
HCl	0	0	6,100
NO ₂	1.4	3.5	1.5
SO ₂	0	1.8	320

지금까지 전선이나 관형전선(부스바)의 피복용으로 사용되는 고분자 절연재료로 주류를 이룬 PVC와 PVC에 난연성을 부여하기 위하여 첨가하거나 반응시킨 할로젠계 난연성을 부여한 FR-8 케이블과 수산화금속무기물을 사용한 저독성 난연케이블과의 연소가스 농도를 NFR-8, FR-8, PVC의 시료를 비교하여 표 1에 나타내었다. 이와 같은 결과로부터 화재 발생시 인명피해의 주원인으로 대두되고 있는 연기나 연소가스에 의한 질식, 중독등에 의한 원인으로 특히 일산화탄소와 이산화탄소에 의한 인명피해 비율이 높은 것으로 알려져 있는 연소가스의 방출량을 측정하여 PVC 피복재의 대체용으로 친환경소재 개발에 따른 청정환경을 구현하고자 본 실험을 통해 확인을 할 수 있었다.

4. 결론

전력 및 통신케이블에서 화재시 전선에서 발생하는 연기밀도 및 연소가스 농도가 인명피해 및 재산상의 손실을 가져오게 됨에 따라 친환경소재 개발에 따른 청정환경을 구현하고자 연기 밀도 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 연기밀도 측정결과 PVC→FR-8→Nfr-8의 피복재 순으로 연기밀도 값의 분포 특성이 작아짐을 확인할 수 있었다.
- (2) 피복재 두께 0.5, 1.0, 1.5[mm]의 연기밀도 비교 측정 결과 시료두께가 증가 할수록 연소법보다는 비연소법에서 증가된 연기밀도 특성을 확인할 수 있었다.
- (3) 연기밀도 발생에 따른 연소가스 측정결과 PVC→FR-8→Nfr-8의 피복재 순으로 감소된 농도 결과를 확인할 수 있었다.
- (4) 연기밀도 발생에 따른 연소가스를 측정 한 결과 NFR-8, FR-8, PVC 피복재의 경우 CO₂는 43,500, 125,400, 46,300[ppm]을 CO가스는 1,400, 1,900, 5,500[ppm]의 가스 농도를 탐지하였다.

참 고 문 헌

1. M. M. Hirschler, "Fire Hazard and Toxicity Potency the Smoke from Burning Materials" , Advances in Combustion Toxicology, Vol.2, pp.229-230, 1990.
2. 이영순 등, "화공안전공학" , 대명사, pp.42-45, 1997.
3. "화재시 유해가스발생에 관한 연구" , 한국화재보험협회, pp.69, 1980.
4. NES713, "Determination of the Toxicity Index of the Products of Combustion from Small Specimen of Materials" , Issue, vol.3. 1985.
5. N. G. McCrum, et al, "Anelastic and Dielectric Effect in Polymer Solids" , John Wiley & sons, pp.353-388, 1987.
6. 大澤善次郎著, "高分子の劣化と安定化" , 東洋店, pp.7-161, 1992.
7. W. P. Chien and J. D. Seader, "Prediction of specific option density for a smoke obscuration in an NBS smoke density chamber" , Fire Technology, FITCA, Vol.11, pp.206-217. 1975.