

난연성 폴리 올레핀 케이블 절연재료의 내화특성

Fire Resistance Characteristics of Polyolefin cable Insulating Materials for Flame Retardant

윤현주, 홍진웅

(Hun-Ju Yoon , Jin-Woong Hong)

Abstract

In this paper, we analyzed the properties change of electric wire when the thermal stress was applied to NFR-8 and FR-PVC 600[V] wire. Measurement is made of the attenuation of a light beam by smoke accumulating with in a closed chamber due to nonflaming pyrolytic decomposition and flaming combustion . Results are expressed in terms of specific optical density which is derived from a geometrical factor and the measured optical density a measurement characteristic of the concentration of smoke. Referenced documents were ASTM E662 standard test method for specific Ds genalated by solid materials. The furnace control system shall maintain the required irradiance level under steady-state condition with the chamber door closed of $2.5 \pm 0.04[w/cm^2]$ for 20 min.

According to the results of the smoke density analysis of NFR-8 and FR-PVC the highest decomposition flaming smoke density range of NFR-8 and FR-PVC were 25.2 to 37.5 and 51.1 respectively. Nonflaming smoke density range of NFR-8 and FR-PVC were 100.4 to 112.2 and 126.5 to 398.8. The amount of carbon monoxide generated was found to be much higher in FR-PVC decomposition than in NFR-8 due to incomplete combustion of FR-PVC which has high content of carbon in compound.

Key Words : NFR-8, FR-PVC, ASTM, E662, Ds

1. 서 론

안정된 전력요구가 최근에 강하게 요구됨에 따라 내화성능을 유지하는 전선은 옥내·외소화전설비등의 배선에 사용되는 내화성을 가진 전선으로 옥내용전선의 도전재료는 연동선이 주로 사용되고 있다. 그 위에 운모 테이프를 내화성능을 유지토록 함과 동시에 저밀도폴리에틸렌(Low Density Polyethylen ; 이하 LDPE)으로 절연을 하여 저독성난연폴리올레핀으로 시이즈를 한 600V NFR-8과 일반적으로 전력케이블에서 사용되고 있는 PVC시이즈를 사용한 600[V] FR-8의 시편을 제작하여

내화특성을 비교 연구하여 유독성가스와 연기의 발생량을 줄인 제품을 사용하여 화재시 전선화재로 인한 유독가스량의 감소로 인명피해 및 전기화재를 미연에 방지할 목적으로 실험을 하였다.^{1)~3)} 본 연구에서는 ASTM E662에서 규정된 연기밀도 시험용 시험장치를 사용하여 전선에 사용된 시이즈를 Non-flaming 시험방법과 Flaming 방법을 이용하여 광선투과율 및 연기밀도를 구하여 분석하고자 하였으며 또한 연소가스 부식성 시험에 의한 수소이온농도지수[pH]와 연소가스의 전도도[$\mu s/cm$]를 측정하여 전선의 내화특성을 분석하여 개선방안을 제시함으로써 화재시 인명피해 및 재산상의 피해를 줄임으로 소방설비의 안전한 운용에 적용하고자 내화특성 변화를 연구하였다.⁴⁾⁵⁾

광운대학교 전기공학과
(서울시 노원구 월계동 447-1,
Fax : 02-915-4630
E-mail : yyhhju@orgio.net)

2. 실험

본 실험에서 사용된 시편은 NFR-8과 FR-8 내화전선을 ASTM E 662에서 규정된 시험장치를 사용하여 동일 조건에서 시이즈의 두께가 0.5[mm] 되도록 하여 전선축 방향 여러조각으로 분리한 시편이 서로 밀착 및 겹치지 아니하도록 75[mm]×75[mm] 시편대에 고정하여 실험을 하였으며 시험중 시편이 시편대에 녹아 붙지 아니하도록 하기 위하여 시편대와 시편 조각이 겹치는 부분에 0.04[mm]의 알루미늄 박막을 제작하였다. 시험편을 부착하지 아니한 시편대를 시험대 위치에 고정시킨 다음 가열로를 점화하여 조사열량이 $2.5 \pm 0.05 \text{ W/cm}^2$ 되도록 가열로 인가전압을 조정후 광선투과장치를 작동시킨 다음 기준점 조정후 시험장치의 배출구를 차단하고, 시편을 부착한 시편대를 교환한 다음 시험장치의 문을 닫은 후 시험기록계의 광선투과율이 최저가 된 다음 시험개시 20분에 가열로를 소화한다음 배출구를 개방기준점을 조정으로 제작한 후 절단한 시편은 증류수로 세척하여 불순물을 제거한 후 실험을 하였다. 제작된 전선도체 위에 운모테이프 0.13[mm]를 사용하여 도체와 LDPE 절연체 사이에 두어 내화특성을 갖도록 하였으며 저압 내화전선의 성능을 향상시키기 위하여 절연체와 시이즈의 인장시험 및 가스정제 플라스크에 각각 170[m]의 증류수를 채우고 pH값과 전기분해 전도도를 측정하기 위하여 780[°C]의 전기로에 설치한 수정유리관 중앙에 시험편을 시이즈에서 채취한 1[g]을 넣은 후 전극을 가장 가까운 플라스크에 설치하여 연소가 시작된 다음 5분 동안은 1분 간격으로 그 후 25분 동안은 5분간격으로 pH와 전도도를 측정하였으며 시편의 길이 150mm, 폭 6.0mm, 두께 $3.0 \pm 0.5 \text{ mm}$ 를 채취하여 온도[20°C] 및 상대습도 66[%] 조건에서 점화기의 선단의 내경을 3[mm]로 하여 측정하여 착화후의 연소 길이가 50[mm]이상 연소를 계속하는데 필요한 최소 산소유량과 질소 유량을 측정하여 산소지수값을 다음식에 의하여 산출하였다. 여기서, $[O_2]$ 는 최저의 산소유량 ℓ/min , $[N_2]$ 는 최저의 질소유량 ℓ/min 을 말하며 시편을 각각 30개씩 제작하여 실험값으로 얻은 값을 평균을 내어 분석하였다

$$\text{산소지수} = \frac{[O_2]}{[O_2] + [N_2]} \times 100 \text{-----(1)}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 연기밀도분석

그림 1에 NFR-8 및 FR-8 5.5[mm], 14[mm], 100[mm] 시편을 1200초 동안 시간변화에 따른 D_s 를 Flaming 및 Non-flaming 방법을 사용하여 변화를 측정하였다. 시험기록계의 광선투과율이 최저가 된 다음 20분 동안 가열

로를 소화하여 식(2)에 의해 D_s 를 측정하였다.

$$D_s = V/AL\{\log_{10}(100/T)+F\} \text{-----(2)}$$

여기서 D_s 는 광학밀도, T는 광선투과율[%], F는 광선투과 때 필터를 사용하면 "0", 필터를 사용하지 않으면 "1", A는 시편의 노출면적[m²], L은 광선투과 길이[m], V는 시험장치의 챔버면적[m²]를 의미한다.⁴⁾

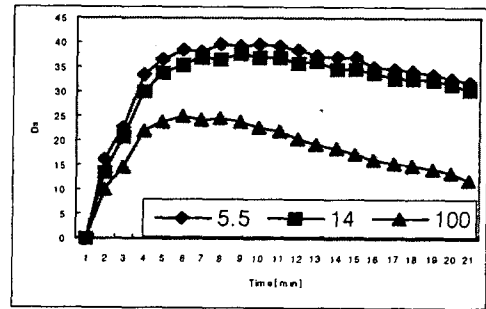


그림 1. Flaming 방법에 따른 NFR-8 내화전선의 연기밀도특성

그림 1에서 NFR-8 5.5[mm], 14[mm], 100[mm]인 각각 두께 0.5[mm] 시편을 Flaming 방법으로 20분 동안 측정된 결과 5.5[mm]는 6분45초에서 D_s 39.6, 14[mm]는 7분57초에서 D_s 37.5, 100[mm]는 5분에서 D_s 25.2의 최대연기밀도 값을 얻을 수 있었으며, 초기 1분에서 7분57초까지 급격한 연기밀도의 증가를 보이다가 점진적으로 5.5[mm] > 14[mm] > 100[mm] 순서로 감소하는 D_s 를 측정할 수 있었으며, 그림 2에서는 NFR-8 5.5[mm], 14[mm], 100[mm]인 각각 두께 0.5[mm] 시편을 Non-Flaming 방법으로 20분 동안 측정된 결과 5.5[mm]는 7분43초에서 D_s 107.2, 14[mm]는 10분56초에서 D_s 112.2, 100[mm]는 7분28초에서 D_s 100.4의 최대연기밀도 값을 얻을 수 있었으며, 1분에서 10분56초까지 급격한 연기밀도의 증가를 보이다가 점진적으로 14[mm] > 5.5[mm] > 100[mm] 순서로 감소하는 D_s 를 측정할 수 있었다.

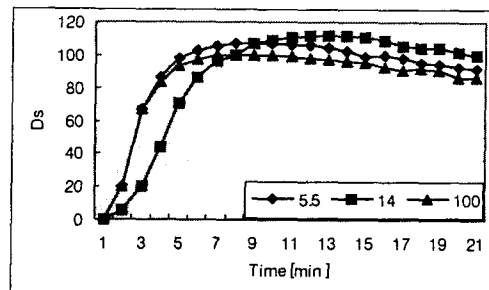


그림 2. Nonflaming 방법에 따른 NFR-8 내화전선의 연기밀도특성

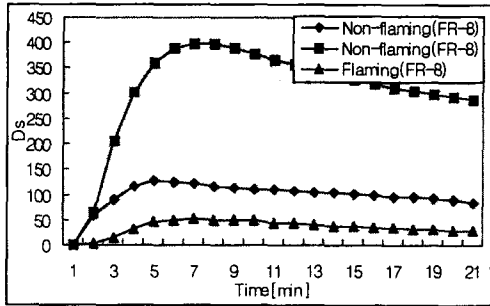


그림 3. Flaming과 Nonflaming 방법에 따른 FR-8 내화전선의 연기밀도특성

그림 3에서는 FR-8 5.5[mm], 14[mm], 100[mm]인 내화전선 각각 두께 0.5[mm], 두께 1.5[mm], 두께 3.0[mm] 시편을 5.5[mm], 14[mm]는 Non-flaming 방법으로 20분 동안 측정을 하였으며 100[mm]는 Flaming 방법으로 측정된 결과 5.5[mm]는 4분35초에서 Ds 126.5, 14[mm]는 6분20초에서 Ds 398.8, 100[mm]는 6분35초에서 Ds 51.1의 값을 얻을 수 있었으며, 시편 두께를 증가할수록 Nonflaming에서 연기밀도가 높게 나타남을 알 수 있었으며 Flaming 방법에서는 완전연소로 인한 연기밀도의 값이 Nonflaming 방법보다 작은 값의 연기밀도를 구할 수 있었다.

따라서 NFR-8과 FR-8 내화전선의 연기밀도를 비교 측정된 결과 연기밀도의 값이 작은 NFR-8의 연기밀도 Ds를 측정할 수 있었다.

3.2 연소가스부식성 분석⁵⁶⁾

시험편은 외부 사이즈에서 1g이상 채취하여 잘게 부순 다음 깨끗한 접시에 1g을 담아 수증투명관 안에 넣은 후 유량계와 가스정제 플라스크의 중간에 설치한 후 연결된 가스정제 플라스크 3개에 각각 170[mL]의 증류수를 채우고 pH값과 전기분해 전도도[$\mu\text{s}/\text{cm}$]를 측정하기 위하여 전극을 수증유리관과 가장 가까운 플라스크에 설치한 후 수증유리관을 800[$^{\circ}\text{C}$]까지 올린 전기로에 가스유량을 시간당 10[l]로 공급하여 연소가 시작된 측정을 하였다.

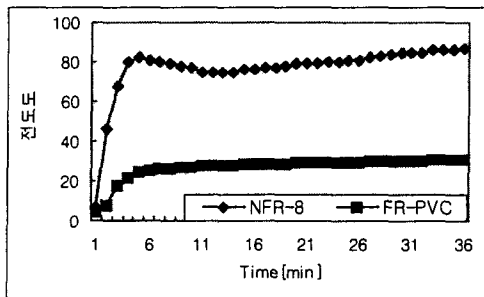


그림 4. NFR-8과 FR-PVC의 전기분해 전도 특성

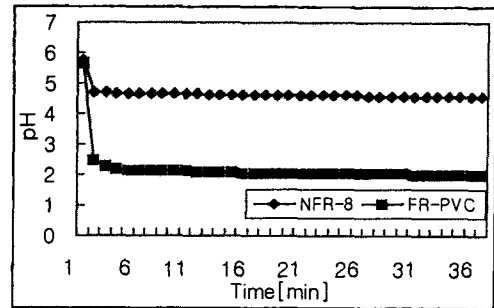


그림 5. NFR-8과 FR-PVC의 수소이온 농도 특성

그림 4, 5에서 NFR-8 전도도는 초기부터 5분까지 84 [$\mu\text{s}/\text{cm}$]까지 급격한 증가를 보이며 증가하다가 점진적인 증가를 보이며 88[$\mu\text{s}/\text{cm}$]까지 증가하였으며, 수소이온 농도지수는 초기부터 5분까지 급격히 감소하였으나 점진적으로 감소하여 35분 이후에는 4.5[pH]의 농도를 측정할 수 있었다. FR-PVC를 사용한 시편은 5분까지 25[$\mu\text{s}/\text{cm}$]의 전도도를 보이며 급격한 증가를 하였으며 이후 완만하게 증가를 하였다. 수소이온 농도지수는 초기부터 5분까지 급격히 감소하여 이후에는 점진적으로 감소하여 35분에는 2.0 [pH]의 농도를 측정할 수 있었다. 따라서 국가 시험기준인 내화전선의 성능시험기준에 의한 연소가스부식성시험에 의한 NFR-8이 FR-PVC를 사용한 시편보다 성능이 향상된 제품을 알 수 있었다.

3.3 산소지수분석 및 가열시험

시험편은 봉상형으로 하여 전선에서 길이 150[mm], 폭 6.0[mm], 두께 3.0[mm]로 하여 시편을 채취한 후 시편이 연소를 지속하는데 필요한 최저산소농도를 측정하기 위하여 온도 20[$^{\circ}\text{C}$], 상대습도 65[%]의 시험실에서 연소부, 가스공급부, 측정부 및 점화부로 구성하여 시험편을 연소 원통의 상단부 보다 100[mm] 이상의 거리에 위치하도록 수직으로 시험편지지구에 취부한 후 산소유량 [l/min] 및 질소유량 [l/min]을 조정하여 시험편의 연소시간을 착염 후 연소길이가 5[cm]일 때의 최저의 산소유량과 질소유량을 측정하여 산소지수값을 다음 식(3)에 의해 산소지수를 측정하였다

$$\text{산소지수} = \frac{[O_2]}{[O_2] + [N_2]} \times 100 \quad \text{-----}(3)$$

여기서, [O₂]는 최저 산소유량 l/min, [N₂]는 최저 산소유량 l/min에 대응한 질소유량[O₂][l/min]를 의미한다.

NFR-8 내화전선을 측정된 결과 산소지수는 5.5[mm]에서 28.1[%], 14[mm]에서는 28.0[%], 100[mm]에서는 26.3[%]를 얻을 수 있었으며 절연체 사이즈의 인장강도 및 신장율을 측정하기 위하여 KS C 3004(고무·플라스

택 절연전선 시험방법) 기준에 의한 아령형 시편을 제작하여 인장강도를 아래의 식(4)에 의해 측정하였다.

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{-----(4)}$$

여기서, σ 는 인장강도[kgf/mm²], F는 최대 인장 하중[kgf], A는 시험편의 단면적[mm²]을 의미한다.

절연체 및 시이즈의 인장강도를 각각 20개씩 시험을 하여 평균낸 결과 5.5[mm]에서는 1.67[kgf/mm²] 및 0.95[kgf/mm²], 14[mm]에서는 2.15[kgf/mm²] 및 0.98[kgf/mm²], 100[mm]에서는 1.26[kgf/mm²] 및 1.01[kgf/mm²]의 결과를 얻을 수 있었다.

신장율은 절단시의 눈금간의 길이를 측정하여 아래의 식(5)에 의하여 측정하였다.⁵⁾⁶⁾

$$\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100 \text{-----(5)}$$

여기서, ϵ 는 신장율[%], l_1 은 절단시의 눈금간의 길이, l_0 는 눈금거리[mm]를 말한다.

시험 절연체 시이즈를 가열온도 90[°C], 96시간동안 가열 및 난연성 폴리아레핀 시이즈를 가열온도 100[°C], 168시간 동안 유지하여 절연체 및 시이즈의 인장강도[kgf/mm²]을 구한 결과 5.5[mm]에서는 1.88[kgf/mm²] 및 1.06[kgf/mm²], 14[mm]에서는 2.148[kgf/mm²] 및 1.06[kgf/mm²] 100[mm]에서는 1.66[kgf/mm²] 및 1.516[kgf/mm²]를 구하였다.

신장율은 5.5[mm]에서 104.7[%] 및 110.1[%], 14[mm]에서는 99.0[%] 및 103.7[%], 100[mm]에서는 102.8[%] 및 88.9[%]를 구할 수 있었으며 이는 KS C 3004(고무·플라스틱 절연전선 시험방법)에 의하여 시험을 하였을때의 절연체의 기준 인장강도는 80[%] 이상, 신장율은 70[%] 이상의 값을 구할 수 있었다.

3.4 열에 의한 내화특성

내화시험 장치는 IEC 331(전선의 내화특성)에서 규정한 시험기를 사용하여 시편에서 120[cm]를 채취한 후 양쪽 끝 부분을 100±5[mm]로 시이즈를 벗겨 낸 후 고정대에 시편을 양쪽에 고정된 크램프에 고정시키고 절연체를 서로 떨어지도록 벌려 놓고 전기적 접촉을 단상3선식 시험 전압기에 연결한 다음 610[mm]의 튜브형 버어너 노즐에서 75[cm] 거리에 열전대를 고정 설치한 다음 그 위치에서 온도 750[°C]가 되면 열전대를 제거하고 그 위치에 시료를 설치하여 내화시험을 3시간동안 전선에 600[V] 정격전압을 인가한 상태로 가한 후 버어너의 불꽃을 소화시키며, 인가전압을 차단한다. 시험종료 후 12시간 동안 실온에서 방치한 다음, 다시 전선에 정격전압을 인가하여 퓨즈의 단선여부를 확인한 결과 이상없음을 확인하였다.

4. 결 론

NFR-8 및 FR-8 내화전선에 열적, 기계적 스트레스를 인가하였을 때 전선의 특성 변화를 분석하기 위하여 ASTM E 662에서 정한 연기밀도시험, 연소가스부식성 시험, 산소지수분석 및 가열시험, 내화시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 연기밀도분석에 따른 연기밀도의 변화는 FR-8 시편의 경우 연기밀도가 크게 증가하는 경향을 보였으나 NFR-8에서는 연기밀도의 변화가 상대적으로 작게 나타남을 알 수 있었다.

2) 연소가스부식성시험에서는 연소시간이 증가함에 따라 전도도는 초기부터 5분까지 급격히증가하여 이후에는 점진적으로 증가하는 경향을 보였으나 수소이온 농도지수는 상대적으로 감소하는 경향을 알 수 있었다.

3) 산소지수분석 및 가열시험에서 산소지수는 5.5[mm], 14[mm], 100[mm]에서 각각 28.1[%], 28.0[%], 26.3[%]를 얻을 수 있었으며 절연체 및 시이즈의 인장강도[kgf/mm²]을 구한결과 5.5[mm]에서는 1.88[kgf/mm²] 및 1.06[kgf/mm²], 14[mm]에서는 2.148[kgf/mm²] 및 1.06[kgf/mm²] 100[mm]에서는 1.66[kgf/mm²] 및 1.516[kgf/mm²]를 구하였으며 신장율은 신장율은 5.5[mm]에서 104.7[%] 및 110.1[%], 14[mm]에서는 99.0[%] 및 103.7[%], 100[mm]에서는 102.8[%] 및 88.9[%]를 구할 수 있었다.

4) 열에 의한 내화 특성은 도체위에 0.13[mm] 마이카 테이프를 테이핑 처리를 한 내화전선을 750[°C]에서 3시간 동안 정격전압을 인가함에 따라 시이즈 및 저밀도폴리에틸렌만 급격히 소화되는 경향을 나타내었으나 내화전선의 특성은 이상없음을 확인 하였다.

참고 문헌

- [1] F. W. Billneyer Moseley, "Textbook of Polymer Science", John Wiley and Son, New York, pp 229~261, 1984
- [2] K. Gilleo, "Polymer Thick Film", ITP, pp 21~53, 1996.
- [3] T. Hayami, "CV CABLE" Corona, pp 107, 1990
- [4] Hirschler, Marcelo M, "Smoke Results from a Set of Over 100 Carpets in the NBC Smoke Chamber Statistical Analysis and Investigation of Afferting Factors", Fire and Materials, Vol 16, No 3, pp. 127~133, 1992.
- [5] H.L.Frisch et al., "Two and Three Component Interpenetrating Polymer Networks", Polym. Eng. & Sci., Mid-June, Vol.25, No.8, pp.488- 493, 1985.
- [6] A. Von Hippel, "Electric Breakdown of Solid and Liquid Insulators", J. Appl.Phys. Vol.8, pp.815-832, 1997.