

저독성 내화전선 케이블의 성능평가에 관한 연구 A Study on the Efficiency Estimation of Halogen free Fire Resistance Cable

윤헌주[†] · 홍진웅 · 유동일* · 윤재선* · 곽동일*

Hun-Ju Yoon[†] · Jin-Woong Hong · Dong-Il Yoo* · Jae-sun Yoon* · Dong-Il Kwak*

광운대학교 전기공학과, *한국소방검정공사
(2001. 12. 14. 접수/2002. 02. 15. 채택)

요 약

저독성 폴리올레핀 절연재료, Sheath재료의 저독성, 연기밀도특성, 연소가스부식성 분석을 하기 위하여 저독성 내화케이블의 성능평가 시험을 수행하였다. 화재 발생시 화염확산 및 유독성가스발생의 주원인으로 피난안전계획에 매우 중요하다. 90년대 후반기부터 연이어 발생한 씨랜드 화재사고와 인천 인현동 라이브클럽등의 동일한 유형을 가진 화재사건을 계기로 국내 내화케이블에 사용되는 재료가 화재시 인명참사에 미치는 영향이 크다는 점이 발견되었다. 본 연구에서는 고체물질에서 발생하는 연기의 특성광학밀도를 ASTM E662를 근거로 하여 실험을 하였다. 전기로의 시스템은 20분동안 밀폐된 챔버내에서 $2.5 \pm 0.04 \text{ w/cm}^2$ 을 지닌 조사열량을 일정한 상태 하에서 방사를 유지할 수 있도록 하였다. NFR-8과 FR-PVC 연기밀도의 분해 결과에 따라 완전연소에 의한 연기밀도 최대값 NFR-8은 25.2에서 39.6 FR-PVC에서 51.1의 값을 얻을 수 있었다. 비연소 열분해에 의한 연기밀도 최대값 NFR-8은 100.4에서 112.2 FR-PVC는 126.5에서 398.8의 값을 얻을 수 있었다. 또한 시료의 연기밀도 분석결과 PVC가 폴리올레핀 시료보다 상당히 많은 양의 CO가 발생되는 반면 CO₂의 양은 적게 발생하였다.

ABSTRACT

Efficiency estimation of toxicity free resistance cable experiments were conducted to understand toxicity free fire resistance polyolefin insulation material and smoke density characteristic and combustion gas corrosion analysis. A main cause of fire-growth and generating toxic gas when it burns, should be dealt with great care in life safety design. Similar patterned fire incidents such as, Incheon Live-Hof Pub Restaurant as, Sea-land Children Resort have proven that serious loss of lives were caused by hazardous gas generated fire resistance cable materials. In this paper, Referenced documents were ASTM E662 standard test method for specific Ds generated by solid materials. The furnace control system shall maintain the required irradiance level under steady-state condition with the chamber door closed of $2.5 \pm 0.04 [\text{w/cm}^2]$ 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. Also, the fire gases was occurred carbon monoxide and decomposition than in polyolefin due to incomplete combustion of PVC which has high content of carbon in chemical compound.

Keywords : NFR-8, FR-PVC, ASTM, E662, Ds

1. 서 론

안정된 전력요구가 최근에 강하게 요구됨에 따라 내

화성능을 유지하는 전선은 자동화재탐지설비, 비상방송설비, 스포팅클러설비, 옥내·외소화전설비등의 옥내용배선에 사용되는 전선으로 도전재료는 연동선이 주로 사용되고 있다. 그 위에 윤모테이프가 감아 내화전선의 성능을 유지토록 함과 동시에 저밀도폴리에틸렌

[†]E-mail: yyhhju@orgio.net

Table 1. Combustion gas density

Combustion gas	Poisonous gas [ppm]		Fatal dose for 30 min
	PVC	Polyolefin	
CO	5,520	1,400	4,000
CO ₂	46,300	43,500	100,000
HCl	6,173	0	500
NO ₂	1.5	1.4	250
SO ₂	324	0	400

(Low Density Polyethylen ; 이하 LDPE)으로 절연을 하여 저독성난연폴리올레핀으로 시이즈를 한 600V NFR-8의 전선을 사용하였다. 일반적으로 전력케이블에서 사용되고 있는 PVC시이즈를 사용한 전선시이즈와 폴라올레핀시이즈 시편을 제작하여 내화특성을 비교 연구하여 유독성가스와 연기의 발생량을 비교하고자 하였다. 화재발생시 전선화재로 인한 유독가스량을 Table 1에 나타내었으며, 유독가스량을 줄임으로 이로 인한 인명피해를 미연에 방지할 목적으로 행정자치부 고제2001-5호에 의한 내화전선의 성능시험기술기준을 적용하여 시험을 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[$\mu\text{s}/\text{cm}$]를 측정하여 전선의 내화특성을 분석하여 개선방안을 제시함으로써 화재시 인명피해 및 재산상의 피해를 줄임으로 소방설비의 안전한 운용에 적용하고자 내화특성 변화를 연구하였다.^{4,5)}

2. 실험

2.1 연기밀도시험

본 실험에서 사용된 시편은 NFR-8과 FR-8 내화전선을 ASTM E 662에서 규정된 시험장치를 사용하여 동일조건에서 시이즈의 두께가 0.5 mm 되도록 하여 전선축 방향 여러 조각으로 분리한 시편이 서로 밀착 및 겹치지 아니하도록 75 mm×75 mm 시편 대에 고정하여 실험을 하였으며 시험중 시편이 시편 대에 녹아 붙지 않도록 하기 위하여 시편 대와 시편 조각이 겹치는 부분에 두께 0.04 mm의 알루미늄 박막을 제작하였다. 시험 편을 부착하지 아니한 시편 대를 시험대 위치에 고정시킨 다음 가열로를 점화하여 조사열량이 $2.5 \pm 0.05 \text{ W}/\text{cm}^2$ 이 되도록 가열로 인가전압을 조정 한 후 광

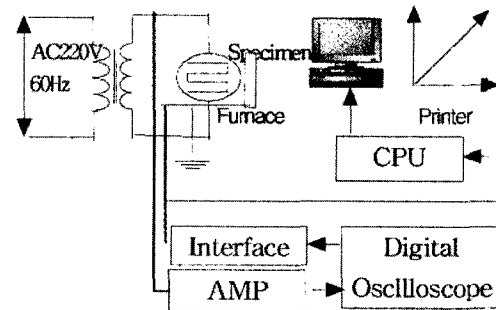


Fig. 1. A experimental device block diagram of complex system.

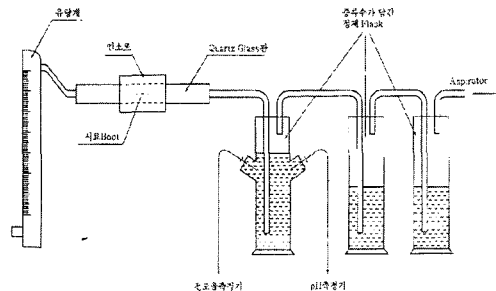


Fig. 2. A experimental device.

선투과장치를 작동시킨 다음 기준점 조정후 시험장치의 배출구를 차단하고, 시편을 부착한 시편 대를 교환한 다음 시험장치의 문을 닫은 후 시험기록계의 광선투과율이 최저가 된 다음 시험개시 20분에 가열로를 소화한 다음 배출구를 개방기준점을 조정으로 제작한 후 절단한 시편은 증류수로 세척하여 불순물을 제거한 후 실험을 하였다. 연기밀도 실험장치는 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 연소가스부식성시험

시험편은 외부 시이즈에서 1g이상 채취하여 잘게 부순 다음 깨끗한 접시에 1g을 담아 수정투명관 안에 넣은 후 유량계와 가스정제 플라스크의 중간에 설치한 후 연결된 가스정제 플라스크 3개에 각각 170 ml의 증류수를 채우고 pH값과 전기분해 전도도[$\mu\text{s}/\text{cm}$]를 측정하기 위하여 Fig. 2에 나타낸 연소가스부식성 시험장치를 이용하여 전극을 수정유리관과 가장 가까운 플라스크에 설치한 후 수정유리관을 800°C까지 올린 연소로에 가스유량을 시간당 10l로 공급하여 측정을 하였다.

2.3 산소지수 및 가열시험

시험편은 봉상형으로 하여 전선에서 길이 150 mm, 폭 6.0 mm, 두께 3.0 mm로 하여 시편을 채취한 후 시편이 연소를 지속하는데 필요한 최저산소농도를 측정하기 위하여 온도 20°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 cm일 때의 최저의 산소유량과 질소유량을 측정하여 산소지수(index oxygen; 이하 IO)값을 다음 식 (1)에 의해 산소지수를 측정하였다

$$IO = \frac{[O_2]}{[O_2] + [N_2]} \times 100 \quad (1)$$

여 기서, [O₂]는 최저 산소유량[l/min], [N₂]는 최저 산소유량[l/min]에 대응한 질소유량[O₂][l/min]를 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연기밀도분석

NFR-8 및 FR-PVC 5.5 mm², 14 mm², 100 mm² 시편을 1200초동안 시간변화에 따른 Ds를 Flaming 및 Non-flaming 방법을 사용하여 변화를 측정하였다. 시험기록계의 광선투과율이 최저가 된 다음 20분 동안 가열로를 소화하여 식 (2)에 의해 사진 1에 있는 실험장치를 이용하여 Ds를 측정하였다.

$$Ds = V/AL\{\log_{10}(100/T)+F\} \quad (2)$$

여기서 Ds는 광학밀도, T는 광선투과율[%], F는 광선

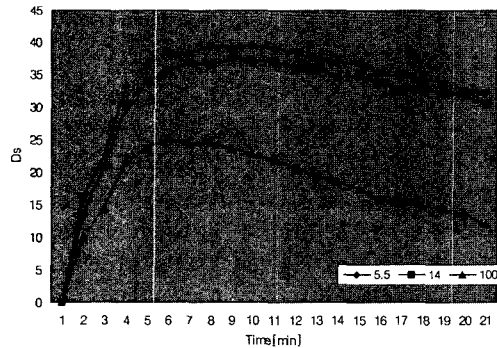


Fig. 3. The smoke density properties NFR-8 according to flaming method.

투과 때 필터를 사용하면 “0”, 필터를 사용하지 않으면 “1”, A는 시편의 노출면적[m²], L은 광선투과 길이[m], V는 시험장치의 챔버면적[m²]을 의미한다.⁴⁾

Fig. 3에서 NFR-8 5.5 mm², 14 mm², 100 mm²인 각각 두께 0.5 mm 시편을 Flaming 방법으로 20분 동안 측정한 결과 5.5 mm²는 6분45초에서 Ds 39.6, 14 mm²는 7분57초에서 Ds 37.5, 100 mm²는 5분에서 Ds 25.2의 최대연기밀도 값을 얻을 수 있었으며, 초기 1분에서 7분57초까지 급격한 연기밀도의 증가를 보이다가 점진적으로 5.5 mm²>14 mm²>100 mm² 순서로 감소하는 Ds를 측정할 수 있었다.

Fig. 4에서는 NFR-8 5.5 mm², 14 mm², 100 mm²인 각각 두께 0.5 mm 시편을 Non-Flaming 방법으로 20분 동안 측정한 결과 5.5 mm²는 7분43초에서 Ds 107.2, 14 mm²는 10분56초에서 Ds 112.2, 100 mm²은 7분28초에서 Ds 100.4의 연기밀도 값을 얻을 수 있었

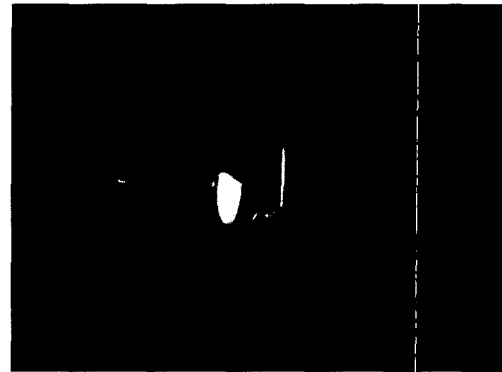


Photo 1. Experimental apparatus.

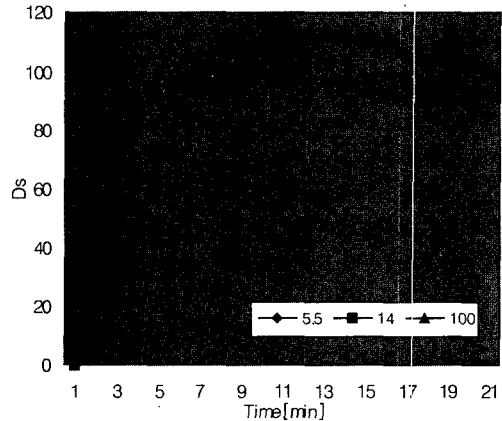


Fig. 3. The smoke density properties NFR-8 according to flaming method.

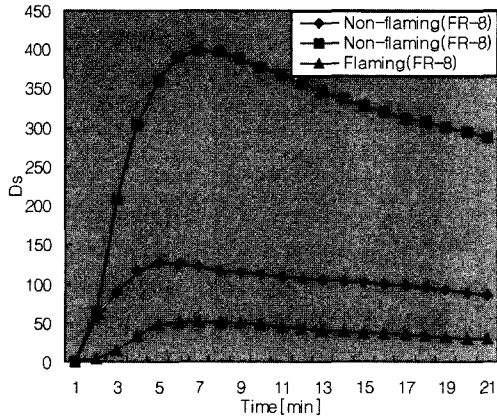


Fig. 5. The smoke density properties FR-PVC according to nonflaming and flaming method.

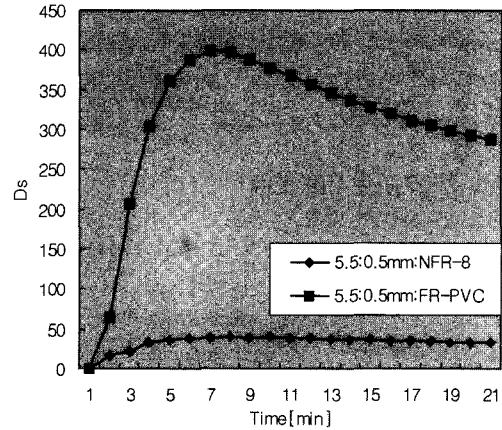


Fig. 6. The smoke density properties NFR-8 and FR-PVC according to flaming method.

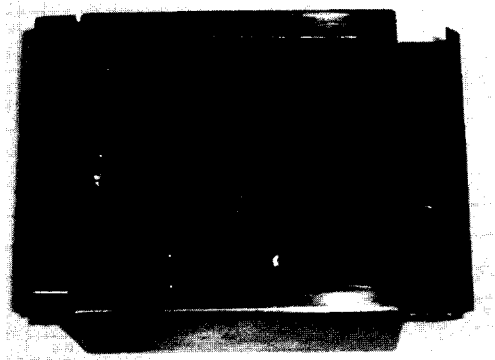


Photo 2. Specimen.

으며, 초기에는 급격한 연기밀도의 증가를 보이다가 점진적으로 $14 \text{ mm}^2 > 5.5 \text{ mm}^2 > 100 \text{ mm}^2$ 순서로 감소하는 D_s 를 측정할 수 있었다.

Fig. 5에서는 FR-PVC 5.5 mm^2 , 14 mm^2 , 100 mm^2 인 내화전선 각각 두께 0.5 mm, 두께 1.5 mm, 두께 3.0 mm 시편을 5.5 mm^2 , 14 mm^2 는 Non-flaming 방법으로 20분 동안 측정된 시편의 사진 2에 나타내었으며 Flaming 방법으로 100 mm^2 를 측정하였다. Fig. 6에서는 5.5 mm^2 인 내화전선 FR-PVC와 NFR-8를 각각 두께 0.5 mm로 하여 Flaming 방법으로 상호 비교측정을 하였다. 초기에는 연기밀도의 값이 급격히 증가하다가 완만한 기울기 값의 연기밀도를 구할수 있었다.

따라서 Flaming 방법으로 측정된 발연량이 FR-PVC보다 NFR-8이 작은 D_s 를 얻을 수 있었으며, 시편 두께를 증가할수록 Nonflaming에서 연기밀도가 높게 나

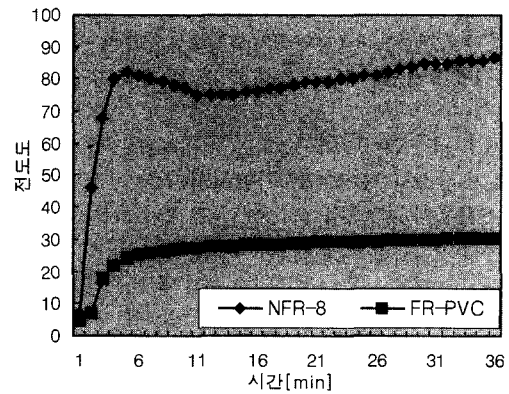


Fig. 7. Electrolysis and conduction properties of NFR-8 and FR-PVC.

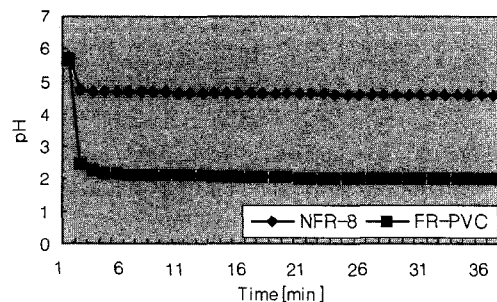


Fig. 8. A hydrogen ion density properties of NFR-8 and FR-PVC.

타남을 알 수 있었으며 Flaming 방법에서는 완전연소로 인한 연기밀도의 값이 Nonflaming 방법보다 작은

값의 연기밀도를 구할 수 있었다. 이는 연소에 의한 내화전선 케이블의 확산속도가 빠름으로 인하여 Flaming 방법에 의한 연기밀도의 값이 높게 측정되었다고 사료된다.

3.2 연소가스부식성 분석^{5,6)}

Fig. 7, 8에서 NFR-8 전도도는 초기부터 5분까지 84 $\mu\text{s/cm}$ 까지 급격한 증가를 보이며 증가하다가 점진적인 증가를 보이며 88 $\mu\text{s/cm}$ 까지 증가하였으며, 수소이온 농도지수는 초기부터 5분까지 급격히 감소하였으나 점진적으로 감소하여 35분 이후에는 4.5 pH의 농도를 측정할 수 있었다. FR-PVC를 사용한 시편은 5분까지 25 $\mu\text{s/cm}$ 의 전도도를 보이며 급격한 증가를 하였으며 이후 완만하게 증가를 하였다. 수소이온 농도지수는 초기부터 5분까지 급격히 감소하여 이후에는 점진적으로 감소하여 35분에는 2.0 pH의 농도를 측정할 수 있었다. 따라서 국가성능 시험기준인 내화전선의 성능 시험기술기준에 의한 연소가스부식성시험에 의한 NFR-8이 FR-PVC를 사용한 시편보다 성능이 향상된 제품을 알 수 있었다.

3.3 산소지수분석 및 가열시험

NFR-8 내화전선을 측정한 결과 산소지수는 Table 2에 나타낸 값을 측정할 수 있었으며, 절연체 및 시이즈의 인장강도 및 신장율을 측정하기 위하여 KS C 3004(고무·플라스틱 절연전선 시험방법) 기준에 의한 아령형 시편을 제작하여 인장강도를 아래의 식 (3)에 의해 측정하였다.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{3}$$

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

절연체 및 시이즈의 인장강도를 25°C에서 각각 10개씩 시험을 하여 평균낸 결과 5.5 mm²에서는 1.67 kgf/mm² 및 0.95 kgf/mm², 14 mm²에서는 2.15 kgf/mm² 및 0.98 kgf/mm², 100 mm²에서는 1.26 kgf/mm²

Table 2. NFR-8 fire resistance characteristics

Square [mm ²]	Index oxygen [%]	Intensity [kgf/mm ²]		Extension ratio [%]	
		LDPE	Sheath	LDPE	Sheath
5.5	28.1	1.888	1.060	104.7	110.1
14	28.0	2.148	1.060	99.0	103.7
100	26.3	1.660	1.516	102.8	88.9

및 1.01 kgf/mm² 결과를 얻을 수 있었다.

신장률은 절단시의 눈금간의 길이를 측정하여 아래의 식 (4)에 의하여 측정하였다.^{5,6)}

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100 \tag{4}$$

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

시험 절연체는 가열온도 90°C, 96시간동안 가열 및 난연성 폴리올레핀 시이즈를 가열온도 100°C, 168시간

Table 3. LDPE fire resistance characteristics

시료번호	Square [mm ²]	LDPE(25°C) [kgf/mm ²]			LDPE(90°C) [kgf/mm ²]		
		5.5	14	100	5.5	14	100
1		1.640	2.145	1.253	1.880	2.140	1.652
2		1.660	2.140	1.251	1.878	2.141	1.630
3		1.640	2.155	1.240	1.884	2.150	1.650
4		1.680	2.145	1.245	1.892	2.142	1.652
5		1.700	2.153	1.265	1.92	2.142	1.648
6		1.690	2.160	1.275	1.888	2.152	1.658
7		1.700	2.170	1.267	1.886	2.140	1.668
8		1.650	2.155	1.280	1.894	2.131	1.670
9		1.690	2.140	1.255	1.882	2.161	1.680
10		1.670	2.147	1.269	1.908	2.152	1.660
평균		1.670	2.150	1.260	1.888	2.148	1.660

Table 4. Sheath fire resistance characteristics

시료번호	Square [mm ²]	Sheath(25°C) [kgf/mm ²]			Sheath(100°C) [kgf/mm ²]		
		5.5	14	100	5.5	14	100
1		0.940	0.935	1.100	1.050	1.010	1.616
2		0.925	0.971	1.000	1.020	1.049	1.512
3		0.915	0.970	1.200	1.010	1.050	1.576
4		1.930	1.015	1.120	1.035	1.110	1.616
5		0.980	0.975	0.910	1.040	1.015	1.416
6		0.985	0.989	1.210	1.110	1.061	1.596
7		0.960	0.985	0.910	1.070	1.105	1.416
8		0.920	0.990	0.910	1.085	1.070	1.436
9		0.970	0.986	1.020	1.080	1.085	1.520
10		0.975	0.974	0.810	1.100	1.035	1.456
평균		0.950	0.980	1.010	1.060	1.060	1.516

동안 유지하여 시험한 절연체와 시이즈의 인장강도[kgf/mm²]는 Table 3, Table 4에 의한 결과를 측정하였으며 시험을 하였을 때의 절연체의 기준 인장강도는 80% 이상, 신장률은 70%이상의 성능 향상된 값을 구할 수 있었다.

4. 산소지수분석 및 가열시험에서 산소지수는 5.5 mm², 14 mm², 100 mm²에서 각각 28.1%, 28.0%, 26.3%을 얻을 수 있었으며 신장율은 5.5 mm²에서 104.7% 및 110.1%, 14 mm²에서는 99.0% 및 103.7%. 100 mm²에서는 102.8% 및 88.9%를 구할 수 있었다.

4. 결 론

전력 및 통신케이블에서 화재로 인한 전선의 소실피해 및 전선에서 발생하는 연기밀도를 측정하여 화재 발생시 이로 인한 인명피해를 최소화할 수 있다는 사실에 착안하여 실험을 하였다. 내화전선에 열적스트레스를 인가하였을 때 전선의 특성 변화를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 폴리올레핀시이즈를 사용한 NFR-8 내화전선을 사용함으로 FR-PVC시이즈를 사용한 전선보다 연기밀도 변화량 및 일산화탄소 가스양의 감소 효과를 얻을 수 있었다.

2. NFR-8내화전선의 전도도는 초기부터 5분까지 84[μ s/cm]까지 급격한 증가를 보이며 증가하다가 이후에는 점진적인 증가를 통하여 초기에 유독가스량의 급격한 증가를 확인할 수 있었다.

3. NFR-8수소이온농도지수는 초기부터 5분까지 급격한 감소를 보이며 4.5 pH의 농도로 감소하다가 이후에는 일정하게 농도를 유지함을 알 수 있었다.

참고문헌

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).