

## 내화전선의 내화특성에 관한 실험적 연구

박찬호, 정창기, 이복영, 김기옥, 정재희\*  
방재시험연구원, \*서울산업대학교 안전공학과

Experimental study on fire resistant characteristics of fire rated cable

**Chan-Ho Park, Chang-Ki Jung, Ki-Ok Kim, Jae-Hee Jung\***  
*Fire Insurers Laboratories of Korea(FILK), seoul national university of technology,*  
*\*Department of Safety Engineering*

### 1. 서론

행정자치부 화재통계 연보에 의하며 2001년 국내 전체 화재 건수 36,169건 중 전기적 요인에 의한 화재가 12,300건으로 작년에 비해 4.3% 증가한 34%을 차지하고 있으며, 전기화재 중 케이블 등 배선에 의한 화재가 9,325건(75.8%)을 차지하고 있다. 특히 화재로 인한 케이블 고장 등으로 국가 기관산업의 기능상실과 전선 연소시 발생하는 유독가스와 연기로 화재 진화활동과 대처에 어려움이 있어 인명 피해와 재산 손실이 확대될 뿐만 아니라, 화재의 2차 재해로서 유독가스로 인한 기기의 부식 등으로 막대한 손실을 초래하였다. 그리하여 불에 견디고, 독성이 없는 무독성 내화전선 개발의 필요성이 제기되어, 1993년 1월에 국내 최초로 할로젠계의 물질을 사용하지 않고 난연화한 논할로젠 내화전선이 개발되어 전기용품 형식승인 취득하였다.

국내에서 사용하는 내화전선의 성능기준은 내무부고시(제1996-19호)로 발표되어 규정되고 있으며, 내화전선의 내화성시험에 관해서는 IEC 60331(전선의 내화특성)에서 규정한 시험에 의한 내화시험만은 요구하고 있으므로, 화재 진압 시 진압수 및 진압요원들의 물리적인 충격 등에 의하여 발생할 수 있는 케이블 고장요인들에 대한 전선의 성능기준은 규정하고 있지 않다.

본 연구는 국내에서 생산중인 난연무독성 내화전선(NFR-8)을 IEC 60331 시험방법을 통하여 내화시험을 실시하고, 화재 진압 시 발생할 수 있는 주수 및 충격에 관해서 BS 6387(케이블의 견전성)에서 정하는 시험방법을 통하여 주수시험(hose steam)과 기계적인 충격시험(Mechanical Shock)을 실시한다. 그리고 UL 910(수평화염전파성) 시험을 통하여 국내에서 생산되고 있는 전선들과 난연무독성 내화전선의 화재특성을 분석하여 화재시 무독성 내화전선의 특성 및 우수성을 확인하였다. 2가지 시험을 통하여 얻어진 본 연구의 결과는 국내의 내화전선에 관한 성능기술기준 제정 및 전선 제조업계의 기술자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

## 2. 시험

연구대상은 국내에서 널리 사용되고 있는 CV(600 V 폴리에틸렌)전선, 국내 원자력발전소의 안전정지에 사용되는 EPR/CSP 전선과 내화전선을 사용하였다. 화재시 케이블의 온도특성 및 화염확산 속도를 알기 위하여 내화전선, CV, EPR/CSP 전선으로 각각 나누어 UL 910 시험을 실시하였고, 국내에서 생산되고 있는 내화전선을 가지고 내화성능, 주수성능, 충격특성을 확인하기 위하여 BS 6387 시험을 실시하였다.

### 2.1 시험장치 및 방법

#### 2.1.1 UL 910 시험

폐쇄형 수평 트레이에 설치되는 Grouped Cable의 난연성능 및 온도특성을 측정하기 위한 장치로 Test Chamber, Cable-Tray, 연소기구 및 급·배기설비로 구성되어 있다. 이 시험장치의 특징은 실제 케이블 트레이에 설치된 케이블 화재의 조건과 거의 동일하며, 화재시 발생하는 기류의 영향은 배기측에 설치된 환기장치의 강제기류를 통하여 생성시켰다. 시험방법은 아래와 같다.

(1) 시험 전 버너에서 7.1m 떨어진 시험챔버 바닥에 위치한 열전대의 온도가  $66\pm 3^{\circ}\text{C}$ 가 될 때까지 시험챔버를 예열한 다음, 4.1m에 위치한 열전대의 온도가  $41\pm 3^{\circ}\text{C}$ 가 될 때까지 시험챔버를 냉각한다.

(2) 시험챔버 내에 케이블 트레이와 케이블을 설치한다.

(3) 시험챔버의 덮개를 덮고 Air inlet shutter를 시험챔버의 바닥으로부터  $76\pm 2$  mm 개방하여 외기의 공기가 시험챔버 내부로 유입되도록 한다.

(4) 시험챔버 바닥의 4.1m에 위치한 열전대의 온도가  $41\pm 3^{\circ}\text{C}$  인지를 재확인한다. 만약 온도가 규정온도 이하인 경우, 시험체를 시험챔버로부터 제거한 후, (1)항의 규정온도로 예열 및 냉각한 후, 시험챔버의 덮개를 덮는다. 시험은 덮개를 덮은 후, 5분 이내에 시작한다.

(5) 버너를 점화한 후, 버너로부터 화염의 거리가 137 cm가 되도록 조정한다. 케이블의 화염 확산을 관측창을 통하여 관측 및 기록한다.

(6) 시간에 따른 화염의 확산거리는 점화 버너의 초기 화염거리 137 cm의 지점을 기준으로 이를 초과한 거리 및 케이블의 온도를 시간별 측정한다.

(7) 시험시간은 점화 Burner를 점화한 후, 총 20분 동안 실시한다.

#### 2.1.2 BS 6387 시험

BS 6387 시험기준의 시험항목은 ① 내화시험, ② 주수시험(hose steam), ③ 기계적 충격(Mechanical Shock)시험으로 구성되어 있으며, 내화성능을 판정하는 내화시험을 먼저 실시한 후, 화재 진압시 진압수 등에 의한 단선 및 단락을 가능성을 확인하는 주수시험과 진압수 등의 충격으로 인한 케이블의 건전성을 확인하는 기계적 충격시험 순서로 시험을 실시한다. 시험방법은 아래와 같다.

- (1) 길이 1200mm의 완성품 Cable의 양쪽 끝을 100mm 정도 외피를 벗겨낸다.
- (2) 케이블의 각 말단에서 도체는 전기적인 연결을 위해 적당하게 준비되고 서로 접촉되지 않도록 벌려 놓는다.
- (3) 시료의 모든 도체에는 연속적인 통전 가능성을 확인하기 위하여 시험전압(AC 600 V)을 변압기를 통하여 인가하고 부하(Lamp)를 연결한다.
- (4) 통전 상실(단선, 합선) 여부를 판단하기 위하여 회로에는 3A의 Fuse를 설치한 후 버너를 정해진 위치에 배치한다.
- (5) 불꽃인가시간은 3시간동안 가하고 Burner를 소화한 후 15분간 전압을 계속 가한다.
- (6) 내화시험을 실시하는 동안 케이블의 통선 상실 여부를 관찰한다.
- (7) 내화시험 후 실시하는 주수시험에서는 표준형 스프링클러(2.5~3.5 kg/cm<sup>2</sup>, 0.25~0.30/m<sup>2</sup>/sec)에 의한 주수를 15분간 주수시험을 실시한다.
- (8) 주수시험을 실시하는 동안 케이블의 통선상실 여부를 관찰한다.
- (9) 주수시험 후 실시하는 기계적 충격시험에서는 지름 25mm 내외, 길이 60mm 내외의 봉으로 지지 구조물인 Rubber bush를 쳤을 경우 이상이 없어야 한다.
- (10) 기계적 충격시험을 실시하는 동안 케이블의 통선상실 여부를 관찰한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 UL 910 시험

사진 1은 시험 전의 케이블 설치장면이며, 시험 전 케이블이 온도를 측정하기 위하여 열전대를 일정한 간격을 두고 설치하였다. 사진 2는 시험 후 NFR-8전선을 제외한 모든 전선(CV, EPR/CSP)은 전선의 외형을 유지하지 못하고, 도체를 외부로 노출시킨 장면이다. NFR-8 전선은 전선의 외형을 그대로 유지하였으며, 내부의 내화층과 절연층을 시험전과 동일하게 유지하고 있었다. 표 1은 시험 중 케이블의 최고온도, 케이블 화염확산 속도를 나타낸 것이다.

Burner에 점화 후, Burner의 초기 화염거리 1.37 m의 지점을 기준으로 하여 이 지점으로부터 케이블의 연소로 인한 화염의 확산거리를 소요시간에 따른 화염의 확산 속도로 환산한 결과는 그림 1(CV 전선), 그림 2(EPR/CSP 전선)과, 그림 3(NFR-8 전선)로 나타났었다. 그림 1의 CV 전선의 화염확산속도는 약 0.82 m/min 로 화재시험 시 화염전파 속도가 아주 빠르게 진행되었고, UL 910에서 요구하는 요구조건(2.89 (초염 1.37 +확대염1.52))에는 만족하지 않았다. 그림 2의 EPR 전선의 화염확산속도는 점화 초기에는 약 0.11 m/min로 양호하였으나 점화 후 490 초 후에는 0.65 m/min 로 빠르게 진행되었으며, UL 910에서 요구하는 요구조건에는 만족하지 않았다. 그림 3은 NFR-8 전선의 화염확산속도는 0.13 m/min로 느리게 진행되었고, UL 910에서 요구하는 요구조건에는 만족하였다.

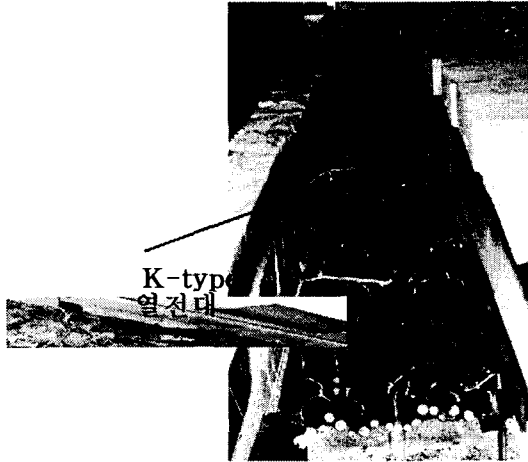


사진 1. UL 910 시험 전 장면

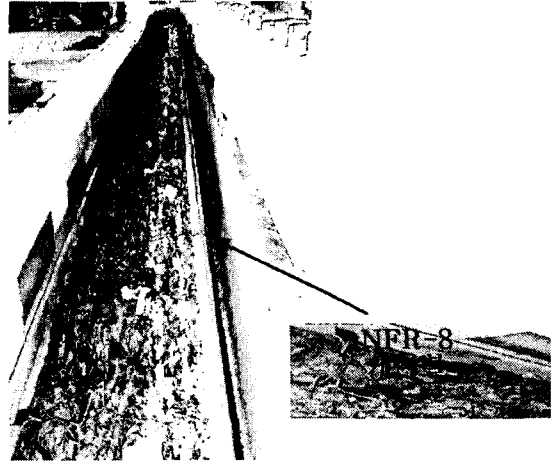


사진 2. UL 910 시험 후 장면

표 1. UL 910 시험결과

구분	시험체 규격	시험결과 외피 연소상태	시험결과 챔버내온도변화(°C) (점화후 10분)				시험결과 20분후 화염확산길이(m)			화염확산 속도 (m/min) 약 0.82
			TC2	TC5	TC3	TC4	기준	시험	평가	
일반 전선	CV (600V)	전소 Core 노출	575	485	384	819	2.89 (초염 1.37 + 확대염 1.52)	16.4	X	점화초기 : 약 0.11 점화 후 490 초 이후 : 0.65
EPR 전선	EPR/CSP (600V)	전소 Core 노출	713	117	245	114		8.6	X	
내화 전선	NFR-8 (600V)	Core 노출안됨	814	158	258	90		2.6	O	

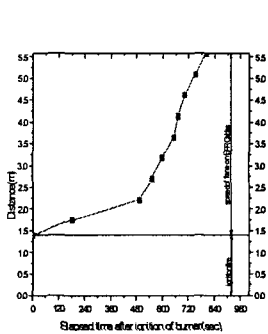


그림 1. CV전선 화염속도

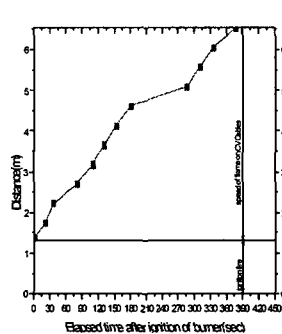


그림 2. EPR전선 화염속도

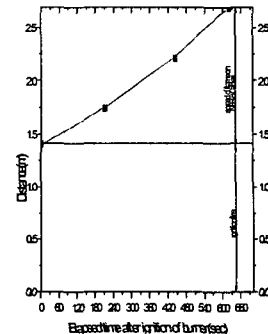


그림 3. 내화전선 화염속도

### 3.2 BS 6387 시험

케이블의 내화성능, 주수성능, 충격특성을 시험한 결과는 표 2과 같으며, 내화전선(NFR-8)을 사용하여 내화시간의 변화에 따른 내화성능, 주수성능, 충격특성을 비교하였고, 시험장면은 사진 3(내화시험)과 사진 4(주수시험)와 같다. 내화시험은 15분, 30분, 165분, 200분으로 증가시키면서 시험을 실시하였으며, 내화시험 시 화염에 노출된 케이블 심선(Core)의 접촉 등으로 인한 케이블의 고장(합선, 지락, 단선, 통전 합선)은 발생되지 않았으며, 최고 3시간 10분 동안에는 내화성능에 이상 없는 것으로 나타났다.

내화시험 후 15분간 실시하는 주수성능 시험결과는 내화시간에 관계없이 주수로 인한 케이블의 고장이 발생되지 않았으며, 주수시험 후 30분간 통전상태를 유지하여 계속 관찰하였으나 이상이 없는 것으로 나타났다. 이 시험결과를 분석하며 화재 후 진압과정에서 발생 할 진압수에 의한 케이블의 고장에 대해서 이상이 없는 것으로 나타났다.

내화시험과 주수시험 후 실시하는 기계적 충격성능 시험결과는 내화시간에 관계없이 충격막대기에 의한 충격에는 아무런 이상이 없는 것으로 확인되었으며, 통전상태에서 충격막대기에 의한 충격시험 후 30분간 통전상태를 유지하여 계속 관찰하였으나 이상이 없는 것으로 나타났다. 충격막대기에 의한 충격시험 후 부 도체 막대기를 이용하여 접촉하였으나, 내화피복이 건전성을 유지하여 단선되지 않았다. 이 시험결과를 분석하며, 화재 및 진압 시 발생할 수 있는 충격 등에 대해서 이상이 없는 것으로 나타났다.

표 2. BS 6387 시험결과

시험 회수	시험시간(min)			시험결과 (단락시간)	기계적 충격시험
	내화시험	내화시험 + 주수	합계		
1회	15분	15분	30분	이상없음	이상없음
2회	30분	15분	45분	이상없음	이상없음
3회	165분	15분	180분	이상없음	이상없음
4회	165분	15분	180분	이상없음	이상없음
5회	200분	15분	215분	이상없음	이상없음

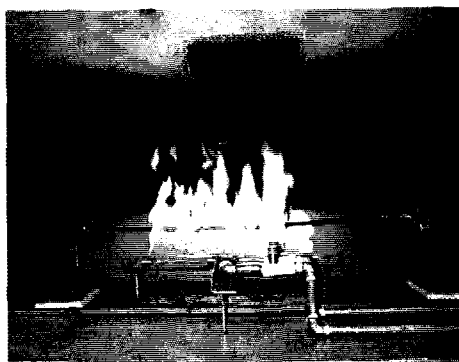


사진 3. 내화시험



사진 4. 주수시험

#### 4. 결론

본 연구에서는 실험적으로 일정한 내화시험 조건하에서 내화전선의 내화성능, 주수성능 및 기계적 충격성능을 규명하였고, 케이블 트레이에 설치된 내화전선의 화재시 온도특성 및 전파특성을 시험을 통하여 규명하였다.

1. 국내에서 생산 중인 논할로겐 내화전선(NFR-8)을 이용하여 국내 소방법에서 요구하는 내화시험 뿐만 아니라, BS 6387에서 요구하는 주수시험, 기계적 충격시험을 실시한 결과 모두 만족하였다.

2. UL 94 시험을 통하여 케이블 트레이에 설치된 CV 전선, EPR/CSP 전선, 논할로겐 내화전선의 화재 시 온도특성 및 화염전파속도를 확인하였다.

3. 논할로겐 내화전선의 주수성능, 기계적 충격 성능은 내화시험의 시간과는 관계없이 케이블의 단락이나 단선 현상은 발생하지 않는 것을 규명하였다.

#### 참고문헌

1. 2001년 화재통계연보, 행정자치부, 2001
2. 난연무독성 소방용 전선, 극동전선, 1997
3. 전선·케이블의 논할로겐 난연화 기술, 월간 전기기술, 1997. 5
4. 소방용 전선(내화), 한국전선공업협동조합, 1993
5. 600V CV전선 제품사양서, 대원전선, 1993
6. 대한전선 600(EPR/CSP) 전선 제품사양서, 대한전선, 1996. 4
7. UL 910 Test method for fire and smoke characteristics of electrical and optical-fiber cables used in air-handling spaces, 1985
8. IEC 60331 Test for electric cables under fire conditions-circuit integrity, 1999
9. BS 6387 Performance requirements for cables required to maintain circuit integrity under fire conditions, 1994