B-3

# 원자력 발전소 케이블의 화염 전파시험 국내외 기준 비교

이동민 · 조영세 · 임현태
(주) 파워빌트씨앤이

# Comparison of Korean and Foreign Standards for Cable Flame Tests

Lee, Dong Min · Cho, Young Se · Yim, Hyun Tae
PBC&E

## 요 약

원자력 발전소에 사용되는 케이블은 화재발생시 화재전파를 억제하기 위해 일정수준의 화염시험을 만족한 것을 사용하도록 규정되어 있다. 이러한 케이블 화염시험 기준은 나라마다 약간씩 차이가 있는데 본 논문에서는 국내와 미국, 프랑스, 캐나다의 원자력 발전소 케이블 화염시험 기준의 국가별 차이점을 비교 분석 하였다. 비교분석결과 각 나라의 케이블 화염시험 코드는 세부 항목별로 약간씩 차이가 있으나 전체적으로 모든 코드가 동등한 수준의 기준을 갖고있는 것으로 분석 되었다. 따라서 어느 하나의 코드를 만족하는 전기케이블은 다른 코드의 요구 사항을 만족하는 것으로 볼 수 있다.

## 1. 서 론

원자력 발전소 화재방호의 기본원칙은 화재 예방, 감지 및 진압 능력, 그리고 화재 지속시에도 원자로의 안정정지를 달성할 수 있도록 다중성 및 이격거리를 갖도록 설계하는 심층방어 (Defense-in-Depth)의 개념이 적용된다.

원자력 발전소에 사용되는 케이블은 화재발생시 화재전파를 억제하기 위해 일정수준의 화염시험을 만족한 것을 사용하도록 규정되어 있다. 이러한 케이블 화염시험 기준은 나라마다 약간씩 차이가 있는데 본 논문에서는 국내와 미국, 프랑스, 캐나다의 원자력 발전소 케이블 화염시험 기준의 국가별 차이점을 비교 분석 하였다. 비교대상 국가로 현재 우리나라에 도입되어 운영되고 있는 원자력 발전소의 기술 도입국인 미국(고리, 영광), 프랑스(울진 1, 2호기), 캐나다(월성 1, 2, 3, 4호기)를 선정 하였다.

케이블 화염시험 기준으로 우리나라는 Kepic END-3810 코드가  있고 미국은 IEEE-383, IEEE-1202 프랑스는 NF C 32-070, 캐나다는 CSA. C22.2 NO. 0.3 코드가 있다. 이들 케이블 화염시험을 상호 비교 분석하여 국내·외 케이블 화염시험 코드 중 어떤 코드가 좀 더 엄격한 기준을 가지고 있고 어떤 부분이 차이점이 있는지 논의 하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 케이블의 화재·화염 시험 요구사항 및 화재원인

#### 2.1.1 케이블의 화재·화염 시험 요구사항

일반 전기 케이블은 재질 특성상 가연물로 구성되어 있어 연소 확대가 빠르고 화재로 인해 다량의 연기와 유독가스를 발생시킨다. 따라서 산업용 케이블은 크게 난연성, 저금속부식성, 내환경성, 저연성, 무공해성을 요구하고 있다. 이는 케이블의 난연화 목적을 달성하기 위한 것으로 착화시간의 지연, 열과 유동가스 발생의 최소화, 연소속도의 저감, 초기소화 단축 및 대피 시간의 연장, 피해범위의 제한 등의 목적을 이루기 위한 사항을 제시하고 있는 것으로 발전소와 같이 지하공간과 무창층의 구조 및 심층방어를 위한 개념에선 상당히 중요한 사항이다.

#### 2.1.2 케이블의 화재원인

케이블의 화재원인으로는 케이블 시설 자체에 의한 발화와 외부 점화원에 의한 발화로 나눌 수 있다.
케이블 자체의 발화 원인으로는 과전류·단락·지락·누전·절연 열화에 의한 발화, 접속부 과열에 의한 열축적에 의한 발화, 스파크에 의한 발화, 다회선 포설에 따른 허용전류 저감률 부족으로 온도 상승에 의한 발화 등이 있다. 다음으로 외부 점화원에 의한 발화 원인으로는 공사중 용접불꽃 등에 의한 발화, 케이블 주위에서 기름등의 가연물 연소 발화, 기기류의 과열에 의한 발화, 타구역에서 발생한 화재가 연소 확대, 고의에 의한 방화 등이 있다. 이런 화재 원인으로 인한 화재시 연소 확대 피해를 최소화하기 위해서 원자력 발전소에서는 케이블 화염시험에 합격한 케이블을 사용하도록 규정하고 있다.

### 2.2 케이블 화염시험 기준현황

#### 2.2.1 한국 - Kepic END 3810 Flame Test (2000)
#### 전기 1급 케이블 및 접속부 형식시험

Kepic END-3810 화염시험 기준에서 시험 장소는 자연 환기실이나 과도한 통풍 장치 및 의사(spurious) 공기 흐름이 없는 밀폐된 곳에서 수행한다. 시험 장비는 시험챔버, 트레이, 리본 가스버너가 필요하고, 트레이의 크기는 76.2㎜(두께) × 305㎜(폭) × 2,400㎜(길이)의 수직트레이에 케이블 직경의 약 1/2 간격으로 설치한다. 케이블 샘플은 길이 2,400㎜에 화염온도 815.6℃로 20분간 접염시킨다. 시험횟수는 케이블의 서로 다른 표본을 사용하여 재현성을 입증하기 위하여 3회 수행한다.
화염을 확산시키고 화염원 상부 트레이의 전체 높이까지 타들어가는 케이블은 시험에 불

합격이고 화염원을 제거하거나 완전 연소시켰을 경우에 자체 소화되는 케이블은 시험에 합격이다.

### 2.2.2 미국 - IEEE Std 383 Flame Test (1974)

**IEEE Standard for Type Test of Class IE Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations**

IEEE-383 화염시험 기준에서 시험 장소는 자연 환기실이나 과도한 통풍 장치 및 공기 흐름이 없는 밀폐된 실에서 실시한다. 시험 장비는 시험 챔버, 트레이, 리본가스버너가 필요하고, 리본가스버너는 바닥에서 610㎜높이로, 케이블 표면에서 76.2㎜ 떨어진 위치에서 수평으로 장착하여 불꽃을 인가한다. 트레이의 크기는 76.2㎜(두께) × 305㎜(폭) × 2,400㎜(길이)인 수직 트레이에 케이블 직경의 1/2 간격으로 설치한다. 케이블 샘플은 길이 2,400㎜에 화염온도 816℃(1500 °F)로 20분간 접염시키고 시험은 3회 실시한다.

화염원을 제거했을 때 자연 연소되어야 하며, 케이블의 시편 상단까지 불길이 전도되거나 타지 않아야 합격이다.

### 2.2.3 미국 - IEEE Std 1202 Flame Test (1991)

**IEEE Standard for Flame Testing of Cables for Use in Cable Tray in Industrial and Commercial Occupancies** (그림1. 참조)

IEEE-1202 화염시험 기준에서 시험 장소는 2,400㎜ × 2,400㎜ × 2,400㎜ 크기의 챔버에서 실시한다. 시험장비는 시험챔버, 트레이, 리본 가스버너가 필요하고, 트레이의 크기는 76㎜(두께) × 305㎜(폭) × 2,438㎜(길이)인 수직트레이에 케이블 직경의 1/2 간격으로 수직으로 설치한다. 케이블 샘플은 길이 2,400㎜에 20Kw/(70,000 Btu/hr) 화염에 20분간 접염시킨다. 단 IEEE-1202는 챔버내에 1,280㎤/s ± 80㎤/s의 공기유량이 있어야 하는점이 END-3810과 IEEE-383과의 차이점이다. 시험에 사용되는 버너는 벤추리 믹서를 포함하는 리본타입의 프로판 가스 버너로서 IEC 60332-3과 동일한 버너를 사용한다.

화염원을 제거했을 때 손상된 부위가 1.5m 이하여야 합격이다.

### 2.2.4 프랑스 - NF C 32-070 Flame Test (1979)

**Classification tests on conductors and cables with regard to fire behaviour** (그림2. 참조)

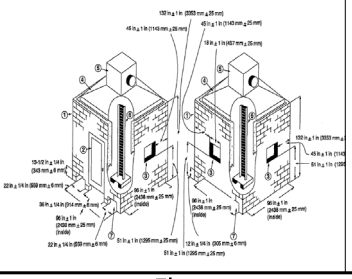
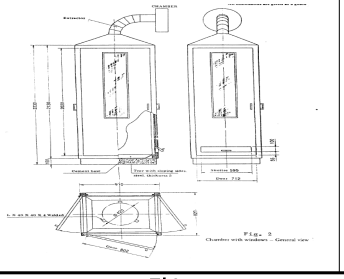
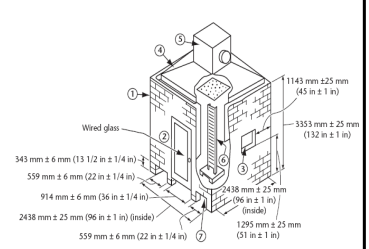
NF C 32-070은 3가지 화염시험방식이 있고 C1, C2, CR1으로 나뉜다. 3가지 시험중에 END-3810, IEEE-383, IEEE-1202, CSA. C22.2 NO. 0.3 화염시험과 비교 가능한 시험은 C1이다.

C1 화염시험의 시험장소는 910㎜ × 820㎜ × 2,230㎜ 챔버에서 실시하고 챔버내 가열장치와 프레임, 강제환기 장치가 필요하다. 케이블 길이는 1,600㎜가 필요하고 700℃ ~ 850℃ 화염온도에 30분간 접염시킨다. 시험은 2회 실시하고 시험 10분 후에 스위치를 끄고

1분 환기 후 다시 시작해서 총 30분 시험을 한다.
화염원을 제거했을 때 케이블의 시편 상부 310㎜ 구간에 연소흔적이 없어야 합격이다.

### 2.2.5 캐나다 - CSA C22.2 No. 0.3 Flame Test (2005)
### Test Methods for Electrical Wires and Cables (그림3. 참조)

CSA. C22.2 NO. 0.3은 총 6가지 화염시험방식이 있고 FT1, FT2, FT4, FT5, FT6, VW-1로 나뉜다. 6가지 시험중에 END-3810, IEEE-383, IEEE-1202, NF C 32-070 화염시험과 비교 가능한 시험은 FT4 이다.
FT4 화염시험의 시험장소는 2,440㎜ × 2,440㎜ × 3,353㎜ 크기의 챔버에서 실시한다. 시험장비는 시험챔버, 트레이, 리본 가스버너가 필요하고, 트레이의 크기는 75㎜(두께) × 300㎜(폭) × 3,000㎜(길이)인 수직트레이에 케이블을 수직으로 설치한다. 케이블 샘플은 길이 2,300㎜에 20Kw 화염에 20분간 접염시킨다.
화염원을 제거했을 때 손상된 부위가 1.5m 이하여야 합격이다.

| IEEE-1202 | NF C 32-070 C1 | CSA C22.2 No. 0.3-01 FT4 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 그림1. | 그림2. | 그림3. |

### 2.3 국내외 케이블 화염시험 기준 비교분석

표1. 에서는 케이블 화염시험에 대해 각 기준별 시험장소, 시험장비, 시험횟수, 케이블 길이, 시험 시간, 화염원, 합격요건 등의 항목을 상호 비교 하였다.
우리나라의 END-3810과 미국의 IEEE-383 화염시험은 동일한 시험이고 미국의 IEEE-1202 와 캐나다의 CSA.C22.2 NO. 0.3 또한 동일한 시험이다. 이중 IEEE-1202와 CSA.C22.2 NO. 0.3 화염시험이 챔버크기, 챔버내 공기유량, 합격조건등 좀더 구체적인 시험조건을 제시하고 있다. 시편길이기준 측면에서는 NF C 32-070 C1이 1600㎜로 좀더 엄격하고, 화염시험시간 측면에서는 NF C 32-070 C1이 30분으로 나머지 코드 기준의 20분보다 엄격하다. 시험만족기준 측면에서는 시편상부 310㎜ 구간에 연소흔적이 없어야 하는 NF C 32-070 C1이 나머지 기준보다 엄격하고, 시험횟수기준 측면에서는 END-3810과 IEEE-383이 3회로 다른 기준보다 엄격하다. 이상과 같이 각 나라의 케이블 화염시험 코

드는 세부 항목별로 약간씩 차이가 있으나 전체적으로 모든 코드가 동등한 기준을 내포하고 있는 것으로 분석된다.

**표1. 화염시험 기준 비교분석**

| | END-3810 | IEEE-383 | IEEE-1202 | NF C 32-070-C1 | CSA.C22.2 NO. 0.3-FT4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 시험 장소 | 자연환기실이나 과도한 통풍 장치 공기 흐름이 없는 실 | 자연환기실이나 과도한 통풍 장치 공기 흐름이 없는 실 | 2400㎜×2400㎜×2400㎜ 챔버 공기유량 1280㎤/s | 910㎜×820㎜×2230㎜ 챔버 | 2440㎜×2440㎜×3353㎜ 챔버 10㎥/min 환기 |
| 시험 장비 | 시험챔버+ 시험트레이+ 가스버너 | 시험챔버+ 시험트레이+ 가스버너 | 시험챔버+ 시험트레이+ 가스버너 | 챔버내+ 가열장치+ 강제 환기+ 시험Flames | 시험챔버+ 시험트레이+ 가스버너 |
| 케이블 길이 | 2400㎜ | 2400㎜ | 2400㎜ | 1600㎜ | 2300㎜ |
| 시험 횟수 | 3회 | 3회 | 2 ~ 4회 | 2회 | 2회 |
| 접염 시간 | 20분 | 20분 | 20분 | 30분 | 20분 |
| 화염원 | 815.6℃ | 816℃ | 20Kw (70,000Btu/hr) | 700℃~850℃ | 20Kw (70,000Btu/hr) |
| 성능 요건 | 자체 소화 및 전소 되지 않아야 함 | 전소되지 않아야 함 | 손상된길이1.5m 이하가 되야함 | 시편상부 310㎜ 구간에 연소흔적이 없어야 함 | 손상된길이1.5m 이하가 되야함 |

## 3. 결 론

케이블의 화재전파 억제 성능을 검증하는 화염 시험 기술 기준에서는 최소한 가연성 케이블 절연 및 피복 물질은 화재 및 화염 시험 요구사항을 충족시키도록 명시하고 있는바, 본 논문에서는 원자력 발전소에 사용되는 케이블의 화재방호설계의 국내·외 기준으로 한국의 Kepic END 3810 (2000), 미국의IEEE 383 (1974), IEEE 1202 (1991), 프랑스의 NF C 32-070 (1979), 캐나다의 CSA. C22.2 NO. 0.3 (2005) 5가지 코드에 대한 비교 검토를 수행하였다.

비교분석결과 각 나라의 케이블 화염시험 코드는 세부 항목별로 약간씩 차이가 있으나 전체적으로 모든 코드가 동등한 수준의 기준을 갖고있는 것으로 분석 되었다. 따라서 어느 하나의 코드를 만족하는 전기케이블은 다른 코드의 요구 사항을 만족하는 것으로 볼 수 있다.

## 참고 문헌


1. Kepic END 3810 (2000)- 전기 1급 케이블 및 접속부 형식시험
2. IEEE Std 383 (1974)- IEEE Standard for Type Test of Class IE Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations
3. IEEE Std 383 (2003)- IEEE Standard for Qualifying Class 1E Electric Cables and Field Splices for Nuclear Power Generating Stations
4. IEEE Std 1202 (1991)- IEEE Standard for Flame Testing of Cables for Use in Cable Tray in Industrial and Commercial Occupancies
5. NF C 32-070 (1979)- Classification tests on conductors and cables with regard to fire behaviour
6. CSA C22.2 No. 0.3 (2005)- Test Methods for Electrical Wires and Cables
7. NFPA 804 (2010) - Standard for Fire Protection for Advanced Light Water Reactor Electric Generating Plants
8. Regulatory Guide 1.189 (2009)- Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants, USNRC