'96 춘계 학술 발표 논문집
한국원자력학회

원전 제어실 바닥 화재감지기 선정에 관한 연구

구 철 수, 임 창 헌
한국원자력 안전기술원

요 약

국내 가압 경수형 원자력 발전소 주제어실의 바닥에 가장 적합한 화재 감지기 선정을 위하여 원전 심사, 검사시 적용한 국내 · 외 화재감지기 설계 및 설치에 관한 법규와 규제요건의 종합적인 검토를 수행하고 원전의 주제어실 바닥 환경을 최대로 모의한 시험장치를 이용하여 신형 열감지기와 공기 표본 추출형 연기감지기의 동작 성능을 비교 시험하였다. 시험 결과 케이블 화재시 공기 표본 추출형 연기감지기가 감도 및 응답특성이 정온식 신형 감지기 보다 우수한 것으로 확인되었다.

1. 서 론

원자력발전소에서 화재가 발생할 경우 일반 산업시설이나 건물의 화재에 비해 비교할 수 없을 정도로 손실이 크다는 사실을 인식해야 한다. 그 손실이 물질적인 손실외에 원자력발전소에 대한 신뢰감이 크게 감소 할 뿐만 아니라 국민들에게 원자력발전소에 대한 안전성을 의심받게 될 것이다. 실제로 원자력발전소에서 화재 발생시 원자력의 특수성 때문에 일반 건축물의 화재 보다 더 큰 손실을 일으킬 수 있다. 이런 위험을 사전에 예방하기 위하여서는 화재가 초기에 감지되어 진압되므로서 발전소의 안전성과 운전에 영향을 주지 않아야 한다.

화재의 초기 감지는 감지계통의 설계가 얼마나 적합한가에 달려있고 설치후에는 그 성능유지가 적절히 이루어져야 한다.

본 논문에서는 원자력발전소의 두뇌에 해당되는 주제어실의 바닥에 설치된 케이블 트레이에 가장 적합한 화재감지기의 선정을 위하여 화재 감지기의 설계, 설치와 관련한 국내 · 외 법규 및 규제요건의 비교 검토 그리고 최근에 그 성능을 인정받고 있는 공기 표본추출형 감지장치중의 한 제품인 VESDA와 정온식 선형 감지기를 원자력발전소 주제어실 바닥 환경을 모의하여 화재 감지기의 동작 성능을 비교 시험한 결과를 검토하였다. 이상의 검토결과를 바탕으로 하여 울진 3,4호기 및 추후 국내에서 건설될 발전소의 주제어실 바닥에 설치할 가장 적합한 감지기를 확인하고자 하였다.

2. 원전 화재방호 계통에 적용되는 규제요건

1) 안전성 심사 및 검사 규제요건

원자력발전소는 종합 플랜트로서 일반건물과는 달리 화재원과 인화 물질이 다양하고 복잡하다. 그래서 규제요건도 국내법을 근간으로 원전설비 공급국의 규제요건을 병행하여 안전성 심사 및 유지관리를 하고 있다. 다음은 국내 원전들에 적용하고 있는 규제요건들이다.

(1) 원자력법 시행령 제 60조 (화재에 의한 손상의 방지)
(2) 소방관련법규
- 소방법, 시행령, 시행규칙
- 소방기술기준에 관한 규칙
- 소방용기계 기구등의 검정등에 관한 규칙

(3) 건축관련법규
- 건축법, 시행령, 시행규칙

(4) 10 CFR 50 Sec. 50.48 'Fire Protection'
(5) 10 CFR 50 App. A, GDC 3 'Fire Protection'
(6) 10 CFR 50 App. R, 'Fire Protection program for Nuclear Power Facilities Operating Prior to January 1, 1979'
(7) US NRC BTP CMEB 9.5-1 'Guidelines for Fire Protection for Nuclear Power Plants'
(8) US NRC Reg. Guide 1.120 'Guidelines for Fire Protection for Nuclear Power Plants'
(9) US NRC NUREG-0800 Standard Review Plan 9.5.1 'Fire Protection Program'
(10) British Standard Institution
(11) CAN/CSA-N293-M87 'Fire Protection for CANDU Nuclear Power Plants'

(12) RCC-I 'Design and Construction Rules for Fire Protection in PWR Nuclear Power Plants'

(13) NFPA 72 National Fire Alarm Code

(14) IAEA Safety Series No. 50-SG-D2 'Fire Protection in Nuclear Power Plants'

2) 화재 감지계통 관련 규제요건의 요약

국내 원전에 적용하고 있는 요건중에서 화재감지계통의 인전성 심사 및 검사에 적용하고 있는 규정의 상세 내용을 요약하여 살피보면

(1) 원자력법 시행령 제 60조 (화재에 의한 손상의 방지)

① 원자로시설은 소화설비 및 경보설비를 하이야 한다.

② 소화설비 및 경보설비는 원자로의 운전에 지장을 기치지시는 아니된다.

③ 인전설비등은 적절한 방화조치를 하이야 한다.

④ 케이블, 원자로 제이실 등은 불연성 재료 또는 내화재료를 사용하이이 한다.

(2) 소방법규

원전설비의 인전성 심사 및 성능 유지관리에 적용하는 기본규제 요건으로서 적용되고 있는 국내 소방 관련 법령은 다음과 같다.

① 소방법

② 소방법 시행령

③ 소방법 시행규칙

④ 소방기술기준에 관한 규칙

⑤ 소방용기계 기구등의 검정등에 관한 규칙

(3) 10 CFR 50 Sec. 50.48 'Fire Protection'

① 모든 운전중인 원전은 GDC 3에 만족하는 화재방호계획을 수립해야한다.

② 1979.1.1 이전에 운영허가 받은 원전은 App. R 적용

(4) 10 CFR 50 App. A, GDC 3 'Fire Protection'

① 안전에 중요한 영향을 끼치는 설비는 화재나 폭발의 영향에 최소화되도록 설계되이야 한다.

② 격납용기와 제이반 설비들은 불연성, 내열성 재질을 사용해야 한다.

③ 화재감지기와 소화설비는 인전에 중요한 영향을 끼치는 설비가 화재로 인한 피해를 최소화 시킬 수 있는 능력과 용량을 기저야한다.

④ 소화설비의 결피열이나 부적절한 운전으로 안전설비에 심각하게 손상을 끼치지 않음을 입증할 수 있는 설계기 되어야한다.

(5) US NRC NUREG-0800 Standard Review Plan 9.5.1 'Fire Protection Program'

원전 소방설비의 안전성 심사 규정중 국내법 이외에 활용하고 있는 심사 지침으로서 이기에서 규제요건으로 제시하고 있는 제이실 및 케이블 스프레딩룸에 갖추어야 할 화재감지 요건은

① 제이실 화재감지설비 요건

가. 연기감지기를 제이실, 케비넷 및 콘솔 내에 설치해야 함

나. 중앙제이실 내에는 화재경보장치 및 현장지시장치가 설치되어야 함

다. 주제이실 환기계통을 위한 외부공기 흡입구에 주제이실에 경보를 발생시킬 수 있는 연기감지기를 설치하이 경보발생시 제이실 환기계통을 수동으로 차단하이 제이실로 연기가 유입되는 것을 방지하여이 함

라. 중앙제이실로 들이오는 케이블은 터지익으로 지나기기 위해서 통과하지 말아야 한

마. 케이블이 바닥 밑이나 천정으로 지날 경우 그 공간을 제이실의 환기를 위한 환기구로 사용하지 말이야 함

바. 바닥 밑이나 천정공간이 케이블 통로로 사용하는 경우에는 자동소화설비를 설치해야 함

② 케이블 스프레딩 룸 요건

가. 지역 연기감지기 그리고

나. 케이블 트레이에 연속적인 선형 열감지기

(6) BSI, RCC-I, and CAN/CSA-N293-M87

고리 1호기의 화재방호계통은 영국 화재방호기준(BSI)을, 울진원전 1,2호기는 원자로 공급국인 불란서의 화재방호기술기준(RCC-I)을, 월성 1,2,3,4호기는 카나다의 화재방호기술기준(CAN/ CSA-N293-M87)을 근간으로 화재방호계통이 설계 및 설치되어 있다.

(7) NFPA 72 National Fire Alarm Code

화재감지계통의 감지, 신호전달, 경보, 통보 및 다양한 화재경보계통의 신뢰성에 대한 요건을 규정한 코드로서 1993년도 판은 NFPA 71(1989), NFPA 72(1990), (NFPA 72(1990)는 NFPA 72A(1987), NFPA 72B(1986), NFPA 72C (1986), NFPA 72D(1986), NFPA 72F (1985)를 1990년에 edition 한 것임), NFPA 72E(1990),

NFPA 72G(1989), NFPA 72H(1988), NFPA 74(1989)를 통합하여 재구성한 규정이다.

3. 선형 열감지기와 공기표본 추출형 감지장치 (VESDA E70-D) 시험

1) 정온식 선형 감지기의 구성 및 특징

시험에 사용된 선형 열감지기는 영광 3,4호기 주제어실 바닥 케이블 트레이에 사용된 것으로서 제작자는 미국 Protectowire사로 공칭작동온도 90℃이며 열감지 물질로 각각 2개의 동작선이 감쌓여 있으며 이들은 주위환경으로부터 보호되기 위해 외피로 쌓여있다. 그리고 두가닥의 감지기중 한가닥에 감시용 전류를 연속적으로 흘려 감지기의 동작과 화재발생을 감시하고 동작온도에 도달하면 감지기 주변물질이 녹아 두감지기 사이에 접점을 형성한다. 그 특징은 지속적인 감시가 가능하여 습도, 낮은 온도 등에 내구력이 있으며 설치가 용이하다. 그리고 경제적이며 필요시 시스템이 추가 설치가 가능하다.

2) VESDA (Very Early Smoke Detection Apparatus) 장치의 구성 및 특징

공기 표본 배관의 표본 구멍으로부터 원심흡입기에 의해 흡입된 공기가 감지장치에 도달하고 이 공기가 필터를 통과하여 연소공기와 무관한 일반먼지나 입자를 제거한 후 감지용기 내에서 광대역 스펙트럼을 갖는 Xenon 빛에 노출되므로서 빛이 산란되고 이로 인해 제어회로의 동작에 의해 화재의 발생을 알린다. VESDA 장치는 빈지할당 기능을 가진 마이크로프로세서를 활용한 연기감지 장치로 필터, 공기흡입기, 공기표본배관, 감지기로 구성되어 있다. 그 특징으로는 공기흐름양을 감지하고 표준감도의 50%에서 200% 까지 1% 단위로 설정이 가능하며 자체 성능의 감시를 지속적으로 수행한다.

3) 정온식 선형 감지기와 공기표본 추출형 연기 장치와의 비교

시험의 목적은 원자력발전소 주제어실 바닥에 가장 적합한 감지장치를 선정하기 위하여 감지기가 설치될 현장을 가능한 최대로 모의한 시험장치를 설치하고 응답 특성과 감지 성능을 비교한다.

(1) 시험장치

국내에서 화재감지기의 성능을 비교 시험할 수 있는 장비와 인력을 가지고 있는 곳은 방재시험연구소로 원전의 제어실 바닥과 비슷한 환경조건을 고려한 시험장치를 이용하여 감지기 선정에 필요하다고 생각되는 시험이 수행되었다. 여기에 간단하게 그 내용을 소개하면 시험장치는 Open Type 수평 Duct내 케이블 트레이에 설치된 시험용 비닐절연 전선이 과부하로 인해 발열, 절연물이 소손될 때 발생되는 열 및 연기에 의해 정온식 선형감지기와 공기 표본추출형 감지장치의 응답특성을 확인하도록 구성하였고 시험에 사용된 장치 및 재료는 아래 표1과 같고 시험감지기의 설치는 그림1과 같다.

시험 장치	규 격	비 고
수평 Cable Duct	- 내부폭 : 450mm - 높 이 : 310mm - 길 이 : 9m - 재 질 : A.L.C (Autoclaved Lightweight Concrete, 100mmt)	시험용 Duct는 Cable Tray가 설치되는 기구로, 상부는 대기와 개방상태이고 3면이 밀폐되어 열기류 및 연기기류는 외기에 의해 자연 상승기류가 형성되도록 제작.
CABLE TRAY	크 기 : 286(W) x 210(H) x 7,300(L) mm Cable 설치 : 시험체를 Tray 폭에 평균하여 6가닥의 전선을 단층으로 전길에 걸쳐 설치	시험용 비닐절연전선을 설치하기 위한 금속제 기구로, 전선의 설치는 시험중 혼촉으로 인한 시험장해를 방지하기 위해 불연성 밤라이트로 평면화한 면에 설치.
시험용 비닐절연전선	제조자 : LG Cable & Machinery Ltd. 명 칭 : 300V, 단심 비닐코드 (VSF) KS C 3304, 0.5㎟ (20/0.16mm)	시험용 비닐절연전선에 과부하를 인가하기 위해 산업용 발열 Heater를 사용.
부 하	(3kW x 3개) x 1조 x 3Set 부하전류 : 34A/1조	
정온식 감지선형감지기 감시장치	명 칭 : 수신기 형 식 : P형 1급 제조사 : 동방전자산업(주)	

표 1. 시험 장치 및 규격

(2) 시험방법

① 정온식 선형 감지기의 초회감도시험: 공칭작동온도의 125%가 되는 온도이고 풍속이 1m/s인 수직기류 중에 감지기를 설치하여 작동시간을 측정한다. 시험결과는 표3과 같다.

② 감지성능 비교시험수평 Duct내의 케이블 트

레이에 설치된 비닐절연전선이 과부하에 의해 발열 및 절연물이 소손시 발생되는 열, 연기에 대한 정온식 선형감지기와 공기 표본추출형 감지장치의 감지성능을 비교하기 위한 시험으로, 시험용 비닐절연전선에 과부하를 인가하여 각 감지기가 작동하는 시간을 측정, 감지성능을 비교한다.

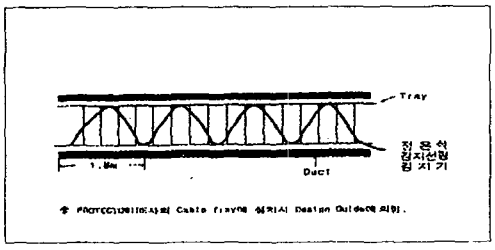

그림 1. 시험 감지기의 설치

가. 시험용 비닐절연전선의 배치

수평 케이블 트레이에 시험용 비닐절연전선 3조(6가닥)를 균등한 이격거리, 일직선상태로 배치하여 부하장치에 연결한다.

나. 부하장치

시험용 비닐절연전선 1조(2가닥)에 약 34[A]의 부하전류를 기할 수 있도록 발열 Heater를 설치

다. 정온식 감지선형감지기 설치

- 케이블 트레이 전체폭, 전 길이에 걸쳐 시험용 비닐절연전선 상부에 전선과 접촉되도록 설치
- P형 1급 수신기에 연결하여 작동시 출력을 기록계에 연결

라. 공기 표본추출형 감지장치 설치

- 케이블 트레이 폭의 중심부, 시험용 전선으로부터 100mm 상부에 Sampling Pipe를 시험용 Duct 전 길이에 걸쳐 설치
- 공급전압 : 24V DC
- Sampling Method : Standard Pipe System (above tray)
- Sampling Pipe : 내경 21mm, PVC, 12m
- Sampling Point : 2mmφ
- Sampling Point 간격 : 1m
- Endcap Vent Hole : 4mmφ
- 출력신호연결 : Auxiliary Interface Board 의 Fire Board를 기록계에 연결
- 출력신호조정

구 분 / LEVEL	Bar Graph	지연시간 (초)	비 고
ALERT	Segment 4	1	
ACTION	Segment 6	1	
FIRE	Segment 8	30	

표 2. 시험시 사용한 VESDA의 설정값

마. 온도측정부

- 시험용 비닐절연전선 표면에 측온저항체를 설치하여 시험중 전선의 표면온도를 연속 측정.
- 소 자 : Pt 100Ω
- 규정전류 : 1mA
- 측정온도 : -50~200℃

4. 시험결과

정온식 선형감지기의 감도 시험결과는 표3, 두 감지간의 동작성능 시험 결과는 아래 표4, 그림 2, 3과 같다

1) 감도시험

구 분 / 시험체 번호	공칭 작동온도 (℃)	작동시간 (초)	감지선 길이(cm)	실내 온도 (℃)
1	90	100	75	19
2	90	160	45	19
3	90	144	65	19

표 3. 정온식 선형 감지기 감도시험 결과

2) 동작 성능 비교시험

구 분 / 횟 수	작 동 시 간 (초)		시험용 비닐절연전선 표면의 최고온도 (℃)
	공기표본추출형 감지장치 VESDA E70-D	정온식 선형 감지기	
1	84	320	154
2	80	274	113
3	81	341	134
4	80	332	129
5	81	302	146

표4. 감지기 동작 성능 비교 시험 결과

5. 결 론

원자력 발전소 주제어실 바닥의 밀폐된 공간에 설치된 케이블의 화재에 대하여 그 동안 정온식 선형 감지기를 사용하였으나 안전등급 케이블과의 이격, 선형 감지기의 품질보증, 케이블의 추가 설치 및 감지기의 보수유지에 어려움이 있었다. 화재 감지기 관련 국내·외 법규 및 규제요건의 종합적인 검토와 함께 주어진 환경에서 인화 물질 및 화재의 종류, 주위환경을 고려하여 공기 표본 추출형 연기감지기와 정온식 선형 감지기의 동작 성능 비교 시험 내용을 검토한 결과 원자력 발전소 주제어실 바닥 케이블 트레이 화재에는 정온식 선형 감지기 보다 공기 표본추출형 연기 감지기가 적합함을 확인하였다.

참고 문헌

1. 영광원자력 3, 4호기 FSAR Chap. 9.5 화재방호계통, 한국전력공사
2. 공기 표본추출형 감지장치(VESDA E70-D), 정온식 감지 선형감지기(90℃) 시험(검사) 성적서, 방재시험연구소, 1996.3
3. 국내 소방법, 시행령
4. US NRC BTP CMEB 9.5-1
5. US NRC Reg. Guide 1.120 'Guidelines for Fire Protection for Nuclear Power Plants'
6. US NRC NUREG-0800 Standard Review Plan 9.5.1 'Fire Protection Program'
7. CAN/CSA-N293-M87 'Fire Protection for CANDU Nuclear Power Plants'
8. NFPA 72 National Fire Alarm Code
9. IAEA Safety Series No. 50-SG-D2 'Fire Protection in Nuclear Power Plants'
10. 공기 흡입 화재 탐지설비에 대한 고찰, 류은실, 방재기술 제 19호, 17p-21p.
11. NFPA TITLE FPH 91. Section 4/Chapter 2, Protective Signaling Systems, Dean K. Wilson

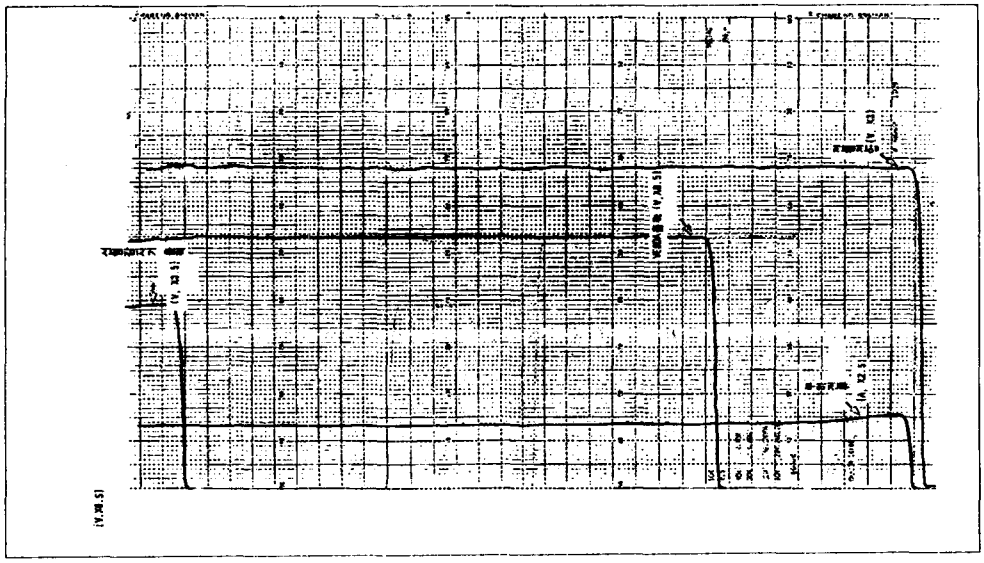

그림 2. 공기 표본 추출감지기 및 정온식 선형감지기의 동작

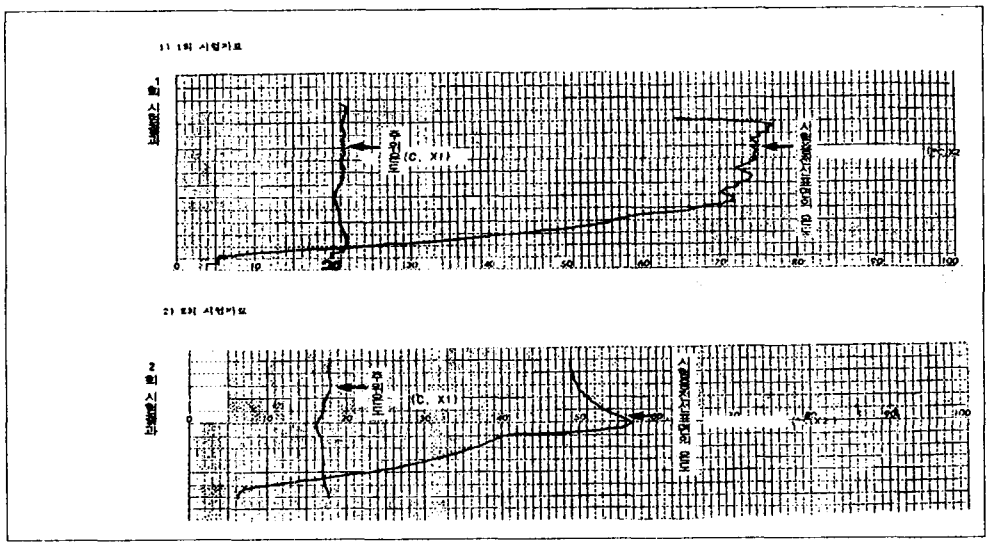

그림 3. 시험용 전선 표면의 온도 및 주변온도