



# 원전 전기설비에 대한 미분무소화설비 실용화 연구



지문학

한국수력원자력(주) 중앙연구원 원자로안전연구소 책임연구원

## 1. 개 황

화재가 발생하면 대부분의 사람들은 안전한 장소로 대피하거나, 화재진압에 대한 교육이나 훈련을 받은 사람들은 소화기와 옥내소화전을 이용하여 화재를 진압할 것이다. 그러나 화재가 전기 캐비닛이나 전기 설비에서 발생할 경우 감전 또는 전기사고를 의식

하여 물의 사용을 꺼린다. 물을 이용한 소화설비는 옥내소화전을 비롯하여 스프링클러 소화설비, 물분무 소화설비가 있고 가연성 물질이 목재, 섬유, 종이류 등에서 발생한 A급 화재에 주로 적용된다. 유류나 가스에 의한 B급 화재 또는 전기적 원인에 의한 C급 화재에는 대부분 가스계 소화설비인 할론, 이산화탄소, 청정소화약제를 사용한다.

만일 물을 B급 또는 C급 화재에 사용할 수 있을 경우 가스계 소화설비의 까다로운 설계조건, 고가의 설치·운영비, 소화성능 입증의 문제점 등을 해결할 수 있을 것이다. 원자력발전소는 200~300개의 방화지역으로 나뉘어 있으며 대부분의 지역에는 전기기기, 제어패널, 변압기, 계측기 등 다양한 전기설비가 설치되어 있다. 방화지역에는 대부분 이산화탄소 또는 할로겐 소화설비가 설치되어 있지만 설치기간이 오래되어 설비개선이 필요하거나 설계변경이 이루어질 경우 가스계 소화약제를 대체할 수 있는 소화설비가 필요하다.

## 2. 현황

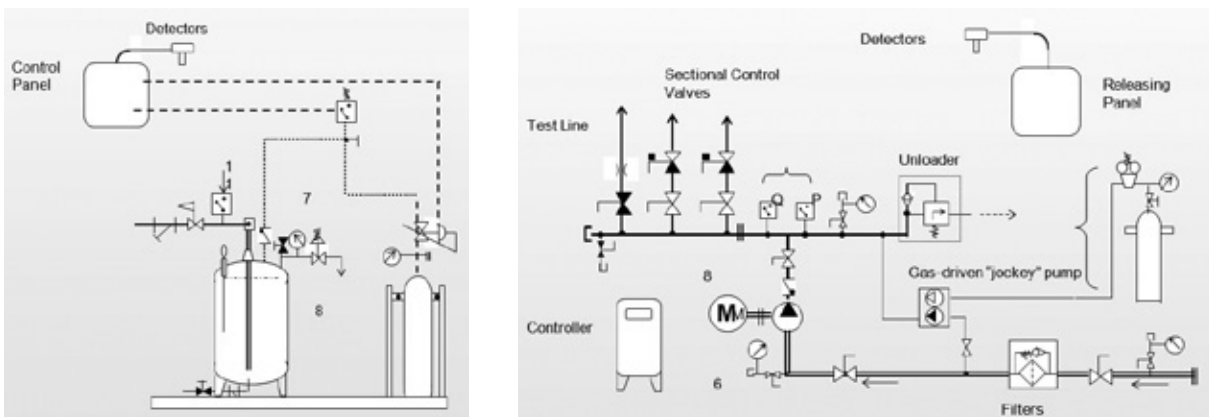
몬트리올의정서에 의해 오존층 파괴물질로 규정된 할로겐화합물은 선진국의 경우 1994년부터 생산과 제조가 중단되어 사용이 금지되었으며 우리나라의 경우 2010년 이후 사용이 제한되고 있다. 일반산업계에서 가스계 소화설비의 소화약제로 가장 많이 사용되어 온 할로겐화합물을 대체하기 위한 대책으로 청정소화약제가 개발되었지만 수계 소화설비의 장점에 미치지 못하면서 많은 문제점이 거론되고 있다. 또한, 이산화탄소 소화설비는 여전히 많은 곳에 사용되고 있지만 사람이 상주하는 장소 또는 오동작에 의

해 피해가 우려되는 곳에는 설치가 제한되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 물을 1,000 $\mu$ m 이하의 작은 입자로 분사하여 화재를 진압하는 미분무 소화설비의 실용화를 위한 검토가 1990년대부터 시작되었으며 최근 10년 동안 가스계 소화설비의 대체 방안으로 집중적인 연구가 이루어졌다.

미분무소화설비는 최근 선진국을 중심으로 가스계, 특히 할로겐 소화설비를 대체하기 위해 많은 연구가 이뤄졌다. 목조건물 등의 일반화재, 기계실이나 대형설비 등의 유류화재에 대한 소화설비 적용성을 확인하였고 최근에는 전기 및 전자시설의 적용성을 확인하였다. 또한 선박, 항공기 등의 소화설비로도 인정받고 있다.

선박에는 국제해사기구(IMO)의 주도로 미분무소화설비를 엔진실, 거주공간, 시설물 등에 설치하도록 기술기준과 법적요건이 마련되었다. 미국의 보험협회 연구소인 UL(Underwriters Laboratories)은 미분무소화설비와 노즐의 성능검증 및 화재시나리오를 마련하여 인증절차를 구축하였다. 미국의 상호보험사인 FM(Factory Mutual) 역시 미분무소화설비를 이용한 다양한 화재실험방법과 인증절차를 구비하였다. 이뿐만 아니라 ISO 국제표준화 기구의 국제기준, 독일 VdS의 규격 등도 제시되었다.



[그림 1] 미분무소화설비 개략도(좌 : 단일유동, 우 : 2상유동)

미분무소화설비에 대한 화재안전기준은 소방방재청 고시 제2011-29호에 의해 발효되었다. 또한 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률시행령(개정 2012. 1. 31)에 의해 미분무소화설비는 물분무 등 소화설비 분류에 포함되어 적절한 소화설비로 인정받고 있다. 법률시행령에 따르면 미분무소화설비는 특정 소방대상물에 설치된 전기실, 발전실, 변전실, 축전지실, 전산실, 그 밖에 바닥면적 300㎡ 이상의 장소에 설치되도록 법적 요건이 마련되었다.

미분무소화설비는 수계소화설비의 냉각기능과 가스소화설비의 질식효과를 모두 얻을 수 있도록 노즐에서 방출되는 물입자가 매우 미세하다. 미국 화재방호 기술요건에 의하면 미분무소화설비는 최소설계압력에서 노즐 또는 방출헤드의 물입자 중 99%의 누적 체적분포가 1,000μm 이하를 요구하고 있지만 설계시 통상 400μm를 적용한다. 미분무소화설비의 소화효과를 정리하면 다음과 같다.

○ 냉각효과

- 물방울이 미세하므로 단위 질량당 물의 표면적이 증가하여 열 흡수 효과 상승
- 물의 표면적 증대에 따른 열을 통한 증발로 증발로 잠열 효과 상승

- 화원에서 발생하는 열을 짧은 시간에 제거하여 연소를 제어

○ 질식효과

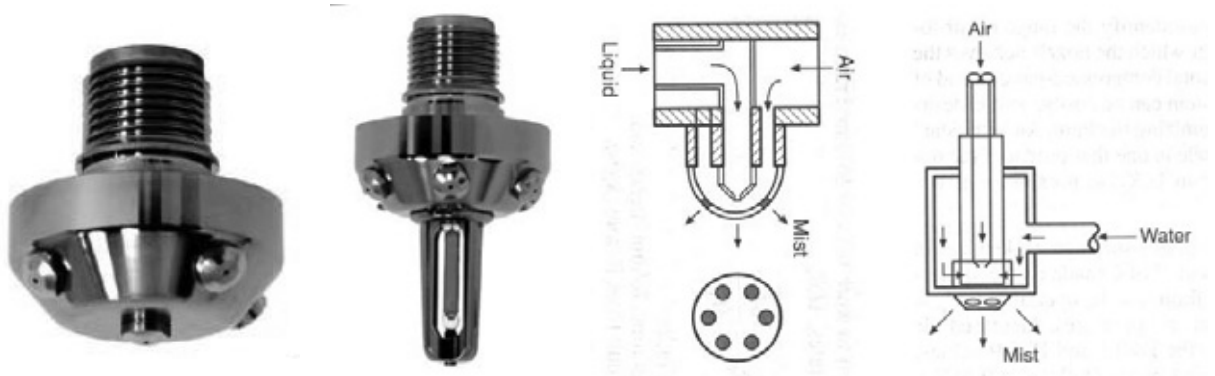
- 물이 증기로 기화(약 1,670배)하면서 체적팽창에 의한 산소 제거
- 기화된 증기가 화원의 표면을 감싸서 화원으로 산소의 유입을 차단
- 화원 가까이 미세 물방울이 직접 접촉하여 화원을 밀봉

○ 차단효과

- 표면적이 크게 증가한 물입자의 표면을 통해 복사열의 반사 및 차단
- 미세 물방울 및 기화된 증기에 의해 복사열의 피드백이 차단
- 복사열 차단과 에너지 흡수에 의해 화재성장을 억제하고 플래쉬오버 방지

○ 기타 효과(특성)

- 다른 수계 소화설비에 비하여 화재진압에 필요한 소화용수량이 매우 적다.
- 가스계 소화설비의 문제점 (소화능력, 비용, 검증, 주기시험 등)이 없다.
- 환경오염이 없고 오동작에 의해 인체에 미치는 악영향이 없다.
- 미분무소화설비는 노즐의 형태에 따라 소화특성을 현저히 개선할 수 있다.



[그림 2] 미분무 노즐의 샘플(좌측) 및 작동 원리(우측)

또한, 미분무소화설비의 적응성이 있는 지역은 다음과 같다.

- 일반 가연성물질을 보관하거나 저장하는 장소
  - 목재, 종이, 섬유류 등 일반가연성 물질 취급소
  - 물에 민감한 박물관, 도서관, 지하 저장고, 예술품 저장소
- 유류 또는 가스류를 저장하거나 사용하는 장소
  - 선박, 해상설비의 기계실, 터빈실, 숙소, 장비실
  - 가연성 액체를 저장하거나 사용하는 시설, 페인트실, 래커실
- 전기설비 또는 제어설비 등이 있는 장소
  - 전기실, 발전실, 변전실, 축전지실, 통신기기실 또는 전산실
  - 전기캐비닛실, 전기판넬실, 계측제어설비, 주 제어실 하부 2중 바닥 공간
  - 케이블 포설실 등 파워케이블, 제어케이블, 통신케이블 등이 설치된 장소
- 기타 장소
  - 항공기의 화물칸, 승무원실, 객실, 엔진실 등
  - 소화용수 확보가 어려운 위험지역, 지하터널, 지하구, 지하설비
  - 폭발 억제가 필요한 화학공정실, 가연성 분진 또는 비산물이 있는 지역

이를 종합할 때 미분무소화설비의 장단점은 다음과 같다.

- 장점
  - 미분무소화설비의 설계 및 설치 비용이 상대적으로 저렴하다.
  - 인체에 미치는 악영향이 없고 환경오염 및 피해가 없다.
  - A급, B급, C급 화재에 대한 적응성이 있다.
  - 가스와 같은 전역방출방식 및 국소방출방식 적용 용이
  - 입자를 적게 할 경우 전기적 부도체 성격을 가지며 불활성 및 방폭효과 제공
- 단점
  - 중력에 의한 낙하 능력이 떨어져 화원의 침투효과가 낮다.
  - 저유속일 경우 화재진압 효과가 떨어지므로 고유속의 가압장치가 필요하다.
  - 차폐 또는 장애물이 있는 화원에 소화약제의 접근성이 떨어진다.
  - 화재진압 이후 배관잔류 소화수 방출에 의한 전기기기 영향이 우려된다.
  - 미세입자 형성을 위해 양질의 수질 및 관리가 필요하다.



[그림 3] 옥내변전소 미분무소화 실험(좌측) 및 옥외 변압기 미분무소화 실험(우측) 모습

- 미분무 노즐, 가압용 펌프, 부속 소화장비에 대한 성능인정 검증
- 최근에 개발된 기술로서 다양한 실험 및 성능입증 자료 부족

- 환기 상태에 따른 물방출 운동량 영향(밀폐, 개방, 반밀폐상태)
- 첨가제에 의한 운동량 개선 및 소화효과

### 3. 향후 계획

미분무소화설비는 A, B, C급 화재에 적용할 수 있고 소화효과가 우수하다. 또한 최근에는 기술기준이 개발되었고 법적 요건도 마련되어 있는 상태이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 국내의 미분무소화설비 적용은 해외보다 활발하지 않은 실정이다. 향후 미분무소화설비를 원전 및 일반산업계에 활성화시키기 위해서는 산업계와 학계의 연구와 정부기관의 검정기준 수립 등 많은 노력이 추가적으로 요구된다.

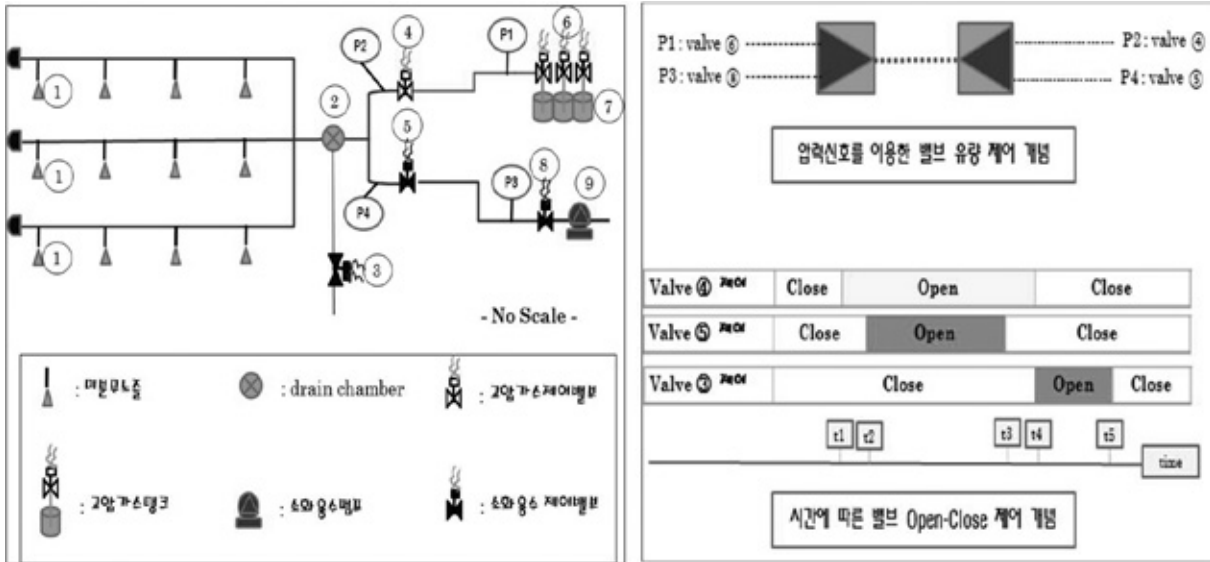
통상 설계자는 C급 전기화재 구역에 미분무소화설비의 설치를 배제하여 왔다. 이는 미분무소화설비의 동작 초기에 다량의 무화되지 않은 소화수가 액상(solid fluid)으로 방출되거나 화재진압 이후 배관의 잔류 소화수가 배출될 가능성이 있기 때문이다. 초기 액상방출은 전원이 공급되고 있는 상태에서 소화수가 전기기기나 계측설비에 침투할 경우 지락, 단락, 단선 등을 일으켜 기기 정지, 오동작, 오신호 등을 유발할 수 있기 때문이다. 화재가 진압되고 즉시 전원 공급이 필요할 경우 배관의 잔류 소화수가 흘러내리면 유사한 문제를 일으킬 수 있다.

다음은 현재 진행 중인 미분무소화설비의 핵심 연구개발 분야이다.

이에 따라 미분무소화설비의 무화방식 및 제어시스템을 다음과 같이 개선하기 위한 방안을 마련하였다.

- 미분무노즐 출구의 입자 직경과 체적분포
  - 국내 기술기준과 미국 화재 방호기술기준의 정의 및 목적에 대한 검토
  - 미세분무 입자의 크기와 분포에 대한 공인된 측정방법과 기준
  - 컴퓨터 모델링을 통한 수치해석 및 활용방법
- 미세분무 분사밀도
  - 노즐의 종류 및 사양에 따른 분사밀도 및 특성
  - 화원 종류, 규모, 거리에 따른 분사밀도(단위면적 유량, 단위체적 밀도)
  - 노즐 출구의 물방울 방출 특성 및 무화 방식(충동식, 가압식, 2류식)
- 소화약제의 운동량
  - 소화약제의 직경, 밀도, 분포에 따른 운동량 특성

- 무화용 가압가스 배관 및 소화용수 배관의 설치 방법 개선
  - 가압용 가스 공급배관을 미분무노즐 분기관에 설치하여 무화효율 제고
  - 가압용 가스와 소화용수 압력을 연동시켜 제어 밸브 개도 제어
- 압력신호를 이용한 밸브 유량 및 밸브 개방·차단 시간을 제어함
  - 초기 소화용수보다 가압용 가스 공급을 빨리 착수하여 액상방출 차단
  - 종료 시 가압용 가스 공급 시간을 늘려 배관의 잔류 소화약제 제거
  - 미분무노즐 분기관 헤드에 드레인 챔버를 설치하여 잔류 소화수 배출



[그림 4] 노즐 분기관의 가압 무화방식(좌측) 및 압력신호와 시간에 따른 밸브제어방식(우측)

한국수력원자력(주)은 이산화탄소 또는 할로겐 소화약제를 대체하기 위한 미분무소화설비실용화 연구를 2013년 3월 착수하였다. 본 연구에서는 미분무소화설비의 핵심 연구개발 항목에 대한 화재 실증실험을 국내외 전문기관 및 학계와 공동으로 수행하여 미분무소화설비에 대한 사업자 설계기준을 확보할 예정이다. 또한 미분무노즐의 무화방식 및 2상 유동 시스템을 포함한 포괄적 유동제어시

스템을 개발하여 원전 방화지역 중 전기설비가 설치된 지역에도 미분무소화설비를 실용적으로 설치할 수 있는 방안을 마련할 계획이다. 향후 미분무소화설비에 대한 화재실험과 고성능 무화 (High-Fog) 장치에 대한 추가적인 연구를 통해 개발된 원전의 소화설비는 안전성과 경제성에 기반을 둔 진화된 미분무소화설비로 각광받을 것으로 전망된다.