

미분무 소화설비의 화재시험과 성능요건

Fire Tests and Criteria for Water Mist Fire Protection Systems

김동석 / 책임연구원

1. 서론

미분무 소화설비는 1990년대 초에 전 세계적으로 공식적인 수계 소화설비가 되었다. 미세한 물을 사용하여 화재를 소화하는 기술은 기존의 할론 1301과 같은 오존층 파괴물질을 사용하여 유류 및 전기화재를 방호하는 소화설비의 대체수단으로 개발이 추진되었다. IMO(국제해사기구, International Maritime Organization)는 36인 이상 여객선에 스프링클러설비설치 의무화하고 이에 미분무 소화설비를 등가(Equivalent)설비로 인정하는 규정을 제정하여 기존의 스프링클러 소화설비를 대체하는 소화설비로도 그 기술개발을 촉진시키는 계기를 제공하였다.

최근 국내에서도 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령에 동 설비의 사용근거를 마련하고 미분무 소화설비의 화재안전기준을 제정한 바 있다. 미분무 소화설비 화재안전기준에 따라 동 소화설비를 설치하기 위해서는 점화원, 연료의 특성과 형태 등에 따라서 발생할 수 있는 화재의 유형을 고려한 설계도서를 작성하고 이를 성능시험기관에서 그 성능을 검증 받아 설치하여야 한다.

본고에서는 이러한 설계도서 작성 및 검증계획 수립에 참고 할 수 있도록 미분무 소화설비와 관련되어 NFPA 750의 설명자료에 소개된 해외규격의 화재시험과 성능요건 내용을 살펴보고, 그 중 본 방재시험연구원에서 수행한 선박용 전역식 미분무 소화설비의 화재시

험에 대한 세부내용을 예시하였다.

2. 미분무 소화설비의 특성

2.1 소화원리

미분무는 주로 화재 발생 장소의 화염에 분무되어 표면적이 증가된 물 액적이 화염으로부터 열을 빼앗는 냉각효과와 물이 증발하여 발생하는 수증기가 산소의 원활한 공급을 차단하는 질식효과 그리고 복사열 차단효과에 의해 화재를 제어, 진압 또는 소화하는 목적을 달성할 수 있다.

물입자의 크기 분포와 미분무의 소화능력의 관계는 복잡하다. 일반적으로 매우 미세한 물 입자는 화재에 분무되면 열흡수와 수증기 발생을 향상시킨다. 액체(B급) 가연물의 경우, 너무 많은 "큰" 물방울은 가연물의 표면을 교란시키고, 연소 강도를 증가시킬 수 있다. 물입자의 크기 분포만으로는 해당 화재를 소화시키는 분무의 능력을 결정할 수 없다. 연료 특성, 방호구역효과(환기와 열 격리의 기능), 분무 선속 밀도(spray flux density), 그리고 분무속도(운동량)와 같은 요소가 화재의 제어, 진압 또는 소화여부를 결정하는 데 관련된다.

2.2 스프링클러 소화설비와의 주요 차이점

스프링클러 소화설비는 통상 1~12 bar의 사용압력에서 운용되지만 미분무 소화설비는 저압설비(12.1 bar 이하), 중압설비(12.1 bar 초과~34.5 bar 미만) 및 고압설비(34.5 bar 이상)으로 사용할 수 있다. 또한 스프링클러 소화설비는 물을 분포시키는 역할을 하는 스프링클러

러 헤드는 대부분 반사판에 물을 충돌시키는 것이 대부분이나 미분무 노즐은 이러한 충돌형 이외에 제트분무, 이류체 분무 등 다양한 형태의 노즐이 개발되어 사용 중에 있다.

이러한 미분무 소화설비는 조건에 따라 A급, B급 또는 C급 화재발생 장소에 모두 적용할 수 있고 기존 스프링클러 소화설비의 1/10 정도의 물량으로 동일한 소화 효과를 발휘할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이에 반해 방호공간의 크기 및 환기정도가 소화성능에 영향을 주고 물입자 크기 및 간섭, 밀도 등이 복잡하게 연동되므로 실제 소화시험만으로 성능인증을 받아 설치해야 하므로 많은 비용이 수반되는 단점이 있다.

3. 미분무수 소화설비 성능시험 기준

3.1 일반사항

일반적인 사양적 설계이론이 없는 상황에서 미분무 소화설비를 설치하려면 방호되는 위험과 성능목적에 따라 시뮬규모의 화재시험과 설비 구성요소에 대한 시험평가를 통해 성능이 확인되어야 한다. 미분무를 이용한 소화설비는 화재위험에 잠재되어 있는 새로운 위험 장소에 지속적으로 적용되어 오고 있으며 이에 대한 시험을 통한 성능평가방법과 성능요건을 규정한 시험기준이 지속적으로 제정 또는 개정되어 오고 있다. 이러한 시험을 통한 성능평가는 화재위험의 방화 공학적 평가, 구획실 상태 그리고 설비의 성능목적에 기반을 두어야 하며 공인된 시험기관에서 수행하고 해석되어야 한다. 이러한 성능평가 결과는 미분무 소화설비의 노즐특성, 노즐간 간격 및 천장, 벽 또는 장애물과의 거리, 최소 작동압력, 급수설비의 요구사항이 제조자의 설계 및 설치 그리고 유지관리 매뉴얼과 함께 제시되어야 한다.

현재 이러한 미분무 소화설비의 성능평가 기준을 개발하여 국제적으로 인정받고 있는 기관은 IMO, 미국의 FMRC (Factory Mutual Research Corporation) 및 ULI.(Underwriters Laboratories Inc.)등이 있다. 미분무 소화설비는 다른 여타 소화설비와 달리 IMO에 의

해 개발된 선박에 사용되는 미분무 소화설비의 성능평가 방법이 FMRC 및 ULI 등 시험기관의 시험기준으로 채택되어동 기관들의 안전목적에 따라 일부 수정되고 있다.

3.2 IMO 화재시험기준

IMO는 기존의 스프링클러 등가 소화설비와 미분무 소화설비에 대한 기준을 최초로 제정하였다. 제정된 기준은 폐쇄형 노즐을 사용하여 객실과 서비스지역에 설치하는 미분무 소화설비적용 기준인 MSC/Cir. A.800(19), 기관실과 펌프실의 전역방출방식 미분무 소화설비에 적용되는 MSC/Cir. 668/728, 그리고 연료 매니폴드나 보일러 전면과 같은 기관실의 고강도 화재 위험 지역에 전역방출방식에 추가로 설치되는 국소방출방식 미분무 소화설비 기준인 MSC/Cir. 913으로 구분할 수 있다. 이들 기준에 적용되는 설비의 유지 및 동작 방식은 스프링클러 소화설비에 적용되는 습식 또는 일제살수방식의 시스템이 적용되며, 상기 3가지 기준은 해당 방호구역 내에 설치되는 미분무 노즐의 성능을 확인할 수 있는 화재시험과 노즐 부품시험의 방법과 성능요건으로 구성되어 있다.

3.2.1 기관실용 미분무 소화설비 화재시험 기준

가. 전역방출방식(MSC/Cir. 668/728)

선박의 기관실(500m³, 500m³ 초과 3,000m³이하, 3,000m³초과)에서의 액체연료 화재가 고려 대상이며 화재시험실의 벽 한쪽에는 2m × 2m의 환기구가 설치된다. 배의 하부 만곡부 공간(bilge space)을 포함한 대형 디젤엔진의 모형은 시험실 중앙에 설치되어 있다. 액체 연료에는 분무(spray), 유출(cascade) 그리고 액면(pool) 소화모형 있는 저압 및 연료배관, 윤활유 배관, 그리고 유압유 배관이 설치된다. 총 13개의 화재시나리오에 대한 화재시험이 필요하다. 8개의 화재 시나리오는 상업용 연료유 또는 디젤유(고 인화점 연료), 4개의 시나리오는 헵탄 연료(저 인화점 연료)를 사용하고, 1개의 시나리오는 소화시험용 목재와 헵탄 점화장치가 사용된다. 기관실 미분무수설비는 배 밑 만곡부의 작은 화

재를 포함한 모든 모형화재를 소화시키고, 재발화가 없어야 한다.

나. 국소방출방식(MSC/Cir. 913)

MSC/Circ. 913 기준은 가연성 또는 인화성 액체가 고온표면에 접촉할 가능성이 있는 지역에서 전역방출방식에 추가적인 화재진압을 수단을 제공하는 국소방출방식의 미분무 소화설비의 성능평가방법을 제공하고 있다. 선박의 주요 추진 및 전력의 발생을 위해 사용되는 내연기관의 화재위험 부분, 보일러 전면, 소각로의 화재위험부분, 그리고 기관실 내의 고온 연료유용 점화장치 등이 방호대상이 된다. 이 설비는 기관실의 전역방출방식을 보완하기 위해 추가로 설치하는 것이며, 엔진 운전중지, 직원 대피, 강제 환기팬의 운전중지 또는 해당 공간의 밀폐 없이 즉시 수동으로 작동되어 화재소화가 가능하다. 주기적으로 사람이 배치되지 않는 기관실의 경우, 화재진압설비는 자동 및 수동 해제 기능을 갖추어야 한다. MSC/Circ. 913에 규정한 시험방법은 수직과 수평 방향의 노즐이 설치되는 그리드의 설계기준을 입증하기 위한 것으로 최대 노즐간격, 노즐에서 해당 위험까지의 최소와 최대거리, 최소 노즐유량, 최소와 최대 작동압력에서 소화성능을 평가한다. 화재시험은 최소 100 m²의 실내에서 디젤연료유를 사용한 1MW와 6 MW의 분무화재를 소화모형으로 한다.



그림. 1 국소방출방식 배관 그리드 및 분무장면

3.2.2 선박의 객실 및 복도 방호용 미분무 소화설비 화재시험기준

MSC/Cir. A.800(19)는 A급 화재가 주로 발생하는 선박의 객실에 설치되는 미분무 소화설비의 성능을 평

가하기 위해 면 커버가 덮여있는 폴리에스테르 매트리스를 이용한 화재시험을 실시한다. 일반 객실의 바닥면적 크기는 16m² ~ 25m² 이고, 고급 객실은 최대 52m²이 적용된다. 고급 객실 시험에는 주거 가연물 패키지인 소화시험용 목재크립과 모의 가구가 포함된다. 노즐은 폐쇄형이며 설비는 객실과 복도 노즐에 대해 시험한다. 한 시험에서 객실 노즐은 동작되지 않고, 복도 노즐은 복도를 따라 화재가 확산되는 것을 방지해야 한다. 기관실의 유류화재 시험과는 달리 객실과 복도 화재에 대한 합격/불합격 기준은 완전연소에 요구하지 않는다. 객실과 복도 화재는 최대 10분 동안 미분무 소화설비에 의해 제어되어야 하고, 그 후 시험자가 남아 있는 화재를 수동으로 모두 소화시킨다. 모든 시험에서 매트리스에 대한 평균손상은 35 %를 초과하지 않아야 하며, 어떤 시험에서도 원래 재료의 손실이 50 %를 초과하지 않아야 한다.

3.2.3 선박 공용장소 및 부대시설 방호용 미분무 소화설비 화재시험기준

가. 공용장소 화재시험

공용장소의 시험은 하나 또는 두개의 데크 높이가 각각 2.5 m 또는 5.0 m 인 천장을 갖 는 선박의 개방된 공용장소에서 화재를 제어하는 미분무 소화설비의 능력을 평가하는 것이다. 화재시험은 큰 실의 중앙에 있는 라운지 형태의 철재 후레임 면 커버 폴리에스테르 매트리스가 있는 침대의자를 소화모형으로 사용한다. 시험은 천장 높이 2.5 m 또는 5.0 m에서 1개 노즐 아래, 2개 노즐 사이, 그리고 4개 노즐 사이에 수행된다. 노즐은 폐쇄형이며 가연성의 벽과 천장 패널이 있는 벽의 구석에서 발생하는 화재 시나리오가 포함된다. 미분무수 소화설비는 화재가 특정위치의 소파까지 확산하는 것을 방지하고, 천장온도를 제한할 수 있도록 분무되어야 한다. 미분무수 소화설비는 10분 동안 화재를 제어할 수 있어야 하고, 그 후에 시험자가 남아 있는 화재를 수동으로 소화시키게 된다. 매트리스에 대한 손상은 모든 시험에 대한 평균값이 35% 이하이고, 단일 시험에서 50%를 초과하는 손상이 없어야 한다.

나. 선박의 쇼핑 및 저장 지역

선박의 쇼핑 및 저장지역에는 가연물의 화재하중이 공용장소보다 훨씬 높다. IMO 화재시험기준에서는 쇼핑 및 저장지역은 중급위험 스프링클러설비 화재시험에서 사용하는 것과 같은 배열로 1.5m의 높이로 적재된 판지 상자 내의 플라스틱 컵이 사용된다. 빈 판지상자인 목표 적재물이 주 연료 가연물 더미를 둘러싸는 것이다. 적재된 주 연료 가연물 더미 박스에서의 화재는 최대 10분 까지 제어되어야 하고 10분 후 시험자는 수동으로 소화모형을 소화시킨다. 화재는 목표 적재물로 확산되지 않고, 목표 적재물이 탄화되어도 안 된다. 모든 개별시험에서 주 가연물 더미의 판지와 플라스틱 컵에 대한 손상이 50%를 초과해서는 안 된다.

3.2.4 미분무 노즐 부품성능시험

IMO MSC/668, Appendix A에서는 미분무수노즐의 부품성능을 평가하는 시험에 대해 규정한다. 수력 특성, 물입자 선속 및 물입자 크기분포, 감열체의 응답성(자동식 노즐에 대해서), 구조적 강도, 내충격성, 내식성, 그리고 막힘 등을 판단하기 위해 노즐의 부품 성능시험이 수행되어야 한다. 이 시험방법은 UL 2167, Standard for Water Mist Nozzles for Fire Protection Service에서 규정한 구성요소 평가방법을 기준으로 규정되었으며 물이나 가스 저장 실린더, 펌프, 제어밸브, 감압밸브, 또는 특수 작동장치 등 노즐 이외의 구성요소는 규정하지 않았다.

3.3 FMRC 및 ULI 화재시험기준

3.3.1 FMRC 기준

FMRC에서는 연소터빈실(Combustion turbine enclosures), 기관실(Machinery space) 그리고 특수 위험 기관실(Special hazard machinery space)에 대해 그 체적을 3가지(80m³이하, 80m³초과 260m³이하, 260m³초과)로 구분하여 적용할 수 있는 미분무 소화설비기준 외에 경급위험(Light hazard occupancies) 장소, 습식벤치(Wet bench) 및 다른 공정장치, 국소방출

방식 등 6가지 미분무소화설비의 성능요건을 규정하는 기준을 개발하였다. 이 기준들의 시험방법 및 성능요건은 모두 IMO에서 개발된 시험방법에 기초하여 FMRC의 안전요건을 반영하여 제정되었다.

예를 들어 기관실의 경우 IMO에서 규정한 기관실과 FMRC에서 규정한 기관실은 서로 같은 장소를 의미하지 않으며, 기관실의 화재시험 중 FMRC는 흐름화재(Cascade fire)에 대한 화재시험이 생략되고 분무화재와 액면화재에 대한 화재시험을 실시한다. 또한 미분무 소화설비 동작시 모든 연료배관, 문 폐쇄장치, 환기 차단, 전기설비가 자동연동(Interlock)될 것을 요구하고 설계시 화재시험에서 적용된 체적 이상으로 공간을 크기를 확장하는 것을 허용하지 않는다.

3.3.2 ULI 화재시험기준

미국의 ULI는 UL2167에는 선박의 (1)기관실, (2)객실, (3)공용장소 및 (4)공용장소에 대한 시험방법과 그 외 (5)주거지역, (6)경급위험지역 (7)중급위험그룹 1 (8)중급위험그룹 2 (9)노즐 구조, 설계, 그리고 성능 (10)미분무 노즐 표시 (11)설계와 설치 매뉴얼 (12)제조 및 생산시 시험을 규정하고 있다. ULI의 선박관련 시험기준은 IMO 시험기준과 거의 유사하며 시험회수와 최종인수시험 부분에 약간의 수정사항이 있다. 주거지역에 대한 미분무 소화설비기준은 주거용 스프링클러헤드에 대한 기준과 유사하며, 경급위험지역, 중급위험그룹1, 중급위험그룹2는 IMO의 공용장소, 쇼핑 및 저장지역에 대한 화재시험방법과 매우 유사하다. 제조자는 노즐과 관련된 제한사항과 용도에 대한 설계와 설치매뉴얼을 제시하여야 한다. 또한 제조 및 생산시 모든 폐쇄형 노즐에 대한 수압시험을 실시하는 등 생산관리, 점검 및 시험 프로그램을 제공할 것을 요구하고 있다.

3.4 VdS 화재시험기준

VdS는 독일의 시험인증기관으로 동 기관에서 제정한 VdS 2498에는 화재시험방법을 규정하고 있으며, 그 중 케이블 도관 터널의 미분무 노즐에 대한 시험방법이 유

럽에서 인정되었다. 이 시

험방법에서는 플라스틱 시스 케이블 다발의 한쪽에 가하는 점화원으로 프로판 버너화염이 사용된다.

4 미분부 소화설비 화재시험 예시

4.1 선박 전역방출방식 미분부 소화설비 성능평가 시험기준

기관실 전역방출방식의 수계소화설비는 1994 년 국제해사기구(IMO)의 해사안전위원회(MSC)의 배포 문서인 MSC Circ. 668에 의해 기존의 가스계 소화설비를 대체하여 기관실과 카고 펌프실에 설치하도록 승인되었고, Appendix에 실물규모의 화재시험 및 노출성능시험에 대한 절차와 성능요건이 규정되었다. 이후 동 위원회에서는 MSC Circ.728(1996)에 의해 적용대상 노출과 화재시험장의 크기, 연료높이 및 화원용 트레이의 크기 등이 수정하였다. 2005년에 Thermal management 시험이 추가되면서 MSC Circ.1165로 그리고 MSC Circ. 1237, 1269 등에 의해 화재모형을 명확히 하고 잘못 인용된 문서를 수정하여 현재의 전역방출방식용 수계소화설비의 기준으로 정립하였다.

4.2. 화재시험

기관실 전역방출방식 미분부 노출(이하 미분부 노출)의 소화성능을 평가하기 위한 화재시험은 8종의 천장설치용 노출의 소화시험과 3종의 밑지 설치용 노출의 화재시험, 그리고 열유지(Thermal management)시험으로 구분되며 그 시험방법 및 성능요건은 다음과 같다.

1) 시험장치 구성

가) 화재시험실

시험실은 바닥면적이 324㎡(18m×18m), 천장높이가 15.5m (지상에서 처마까지 높이)로 체적이 약 5,300㎡이며 화재시험 중 원활한 공기공급을 위해 개구부(2m×2m)를 가지고 있다.

나) 모형엔진

모형엔진은 두께 5mm의 철판으로 3m(L) ×

1m(W) × 3m(H)의 크기로 제작하였다. 엔진 상부는 배기관을 모사하는 직경 0.3m, 길이 3m로 된 2개의 연통과 무늬철판으로 되어 있으며, 엔진하부는 6m(L) × 4m(W) × 0.75m(H)의 bilge가 엔진을 둘러싸고 있다. 화재시험에 사용되는 엔진 목업의 개략도 및 사진은 다음 그림 2와 같다.



그림 2 엔진 목업 사진

2) 화재시나리오 및 화원

- 가) 미분부 노출 사이에 있는 모형엔진 상부의 저압 수평방향 상용연료 또는 경유 분무화재
- 나) 모형엔진 상부의 45도 상향 연료노즐에 의해 1 m 이격된 지름 12~15 mm 철판에 화염이 닿는 저압의 상용 연료 또는 경유 분무화재
- 다) 모형 엔진 상부의 고압 수평 경유 분무화재
- 라) 모형 엔진 측면 위치의 엔진 말단으로부터 0.1 m 안쪽 연료 분무 노즐에서의 상용 연료 또는 경유의 저압 은폐형 수평방향 분무화재 및 밑지판 상부 0.1㎡ 트레이 화재
- 마) 엔진 배기관 중앙부 아래의 밑지판 상부 2.1㎡ 트레이 헤파탄화재
- 바) 모형엔진 상부 노치로부터 0.25 kg/s의 유량으로 흐르는 헤파탄화재
- 사) 30초간 자유연소시간을 갖는 2㎡ 원형 트레이 내부의 헤파탄사용 A급 목재크립 화재
- 아) 엔진 상부에 20도 기울여져 설치된 철판의 앞면 끝으로 부터 수평방향으로 0.5m 위치에서 상부 저압 분무노즐로 철판을 350℃까지 가열하는 헤파탄화재

- 자) 모형엔진 아래 중앙부 0.5m² 헵탄화재
- 차) 모형엔진 아래 중앙부 0.5m² 미네랄 윤활유 화재
- 카) 모형엔진 아래 4m² 상용 연료 또는 경유 트레이 화재
- 타) 일정한 크기의 헵탄 트레이 화재시 화재 시험실 체적에 따른 화재억제능력을 열전대 트리를 이용하여 평가

3) 시험절차

연료의 점화 후 미분무수 분사 전에 연료트레이화재(tray fire)는 2분간, 분무화재(spray fire) 및 헵탄화재는 5~15초간, 그리고 A급 화재시험은 30초 간 자유연소(pre-burn) 시킨다. 미분무는 제조사 사양의 방출시간의 50% 또는 15분 중 짧은 시간동안 방출한다. 연료분무의 경우 미분무수 방출이 끝난 후 15초 후에 차단시킨다. 시험 중 ①점화절차의 시작 ②시험(점화)의 시작 ③ 소화장치의 작동 시각 ④화재가 소화된 경우, 소화시각 ⑤소화장치가 정지된 시각 ⑥재발화가 발생한 경우 재발화한 시각 ⑦분무화재용 연료유 분무가 차단된 시각 ⑧시험완료 시각이 관찰되어야 하며 시험 전후 ①설비부품의 손상 여부 ②연료유의 잔량을 확인하기 위한 트레이 연료유 레벨 ③시험실, 연료유 및 모형엔진의 온도가 관찰되어야 한다

4) 성능요건

화재시험의 성능요건은 천장노즐 화재시험과 필지 화재시험의 모든 시나리오에 대해 각각 15분 안에 소화되는지 여부이며, 열유지 시험은 점화 후 300초 동안 열전대 트리에 설치된 10개의 열전대의 60초 평균온도가 100℃ 이하로 유지되어야 한다. 2010. 12. 10. 개정된 IMO MSC/Circ.1385에서는 3,000 m³ 이상 급 대형 기관실에 설치하는 미분무 노즐의 경우 소화시간의 단축 등 규정된 소화성능 만족시 실물화재시험을 수행한 시험실 체적에 일정한 지수(Scaling factor)를 곱하여 실제 시험실보다 큰 기관실에 설치할 수 있도록 규정하고 있다.

5) 주요 화재시험장면



0.25 kg/s 흐름화재시험



0.5m² 헵탄트레이 화재시험



0.5m² 윤활유 트레이 화재시험



열 유지시험

5. 맺음말

현재 미분무 소화설비는 적용 장소별 성능목적을 설정하고 이를 달성할 성능을 평가하기 위한 시험방법과 성능요건을 정하는 기준을 수립한 후 화재시험과 부품 시험을 실시하고, 그 결과로부터 도출된 노즐간격, 설치 높이, 압력범위 등의 성능요소들을 설계에 반영하여 설치하고 있다.

향후 미분무 소화설비의 성능향상과 적용확대를 위해서는 화재시험 결과와 현장설치의 불일치를 줄이는 방법의 개발, 설비의 장기적 성능유지방법의 개발, 설치 목적과 성능목표의 구체화 방법의 개발, 현장의 실패 및 성공사례의 분석을 통한 기술보완이 지속적으로 추진되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Jack R. Mawhinney, P. Eng., FSFPE, "Issues and Future Directions for Water Mist Fire Protection Systems", Fire Protection Engineering, Issue No. 54, pp. 18-32 (2012).
2. NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2010.