

고정식 국부소화장치용 저압 미분무수 노즐 성능평가연구

이 찬 주 (방재설비부 선임연구원)

I. 서론

산업의 발달과 함께 증가하는 화재를 방호하기 위하여 일반적으로 A급 화재에는 물 소화설비를 B급 및 C급 화재에는 CO₂ 및 할론계열의 가스계 소화설비가 사용되어왔다. 그중 할론계열의 가스계 소화설비는 지구의 오존층 파괴 등의 지구 환경에 문제를 가져오기 시작하였다. 이에 따라 1987년 몬트리얼 의정서 발표에 따른 할론계화물 소화약제의 사용규제로 인하여 가스계 소화설비에는 청정소화약제를 사용하는 새로운 소화약제가 등장하게 되었으며, 지난 50년간 크게 실용화되지 못한 채 연구에만 머물렀던 미세한 물방울을 분사하여 화재를 진압하는 미분무수 소화설비가 재 등장하게되었다. 미분무수 소화설비는 방호대상물의 조건 및 물방울의 크기 등에 따라 A, B, C급 화재에 모두 적용이 가능한 소화설비로 선박에서의 화재안전 설비를 중심으로 발전되어 왔으며, 국제해사기구(IMO : International Maritime Organization)에서는 선박에서의 대형 화재사고예방을 위하여 해상인명안전국제협약(SOLAS : Safety Of Life At Sea) 제 II-2장에 의하여 2002년 7월 1일 이후에 건조되는 총톤수 500톤 이상의 여객선 및 총톤수 2,000톤 이상의 화물선의 A류 기관구역에는 화재가 기관구역 전체에 확대되는

경우를 대비하여 전역방출방식의 미분무수 소화설비, 포 소화설비 및 이산화탄소 소화설비 중 하나를 선택하여 설치하고, 주엔진, 보조엔진, 연료탱크 등의 국부지역에서 부분적으로 발생하는 화재에 대비하여 추가로 고정식 국소방출방식의 미분무수 소화설비의 설치를 의무화하고 있다. 이에 따라 선진 각국에서는 1990년대 초부터 미분무수 소화설비 및 미분무수 노즐을 개발하여 선박 및 육상의 화재안전 설비로 설치하고 있다. 선박의 건조량이 많은 국내의 조선산업에서는 그동안 외국으로부터 고가의 미분무수 소화설비를 수입하여 설치함에 따라 이를 개선하고자 국내의 선박 화재안전 설비를 제조 및 설치하는 업체를 중심으로 미분무수 소화설비에 사용할 수 있는 다양한 종류의 미분무수 노즐을 개발하고 있다. 미분무수 소화설비는 설비의 말단에 설치하는 미분무수 노즐의 사용 압력에 따라 저압, 중압, 고압으로 나뉘어진다. 본 연구에서는 제조업체에서 개발하여 평가를 의뢰한 단일유체를 이용한 저압의 개방형 미분무수 노즐에 대하여 IMO-MS/Circ.668 시험기준의 개방형 노즐에 해당하는 시험항목으로 미분무수 노즐에 대한 성능을 평가하고, IMO-MS/Circ.913 시험기준에 따라 미분무수 노즐의 소화성능을 평가하였다.

II. 성능평가 내용

2.1 시험체

- 2.1.1 시험체명 : 미분무수 노즐
- 2.1.2 형 식 : 개방형
- 2.1.3 재 질 : 스테인리스 스틸(Stainless steel)
- 2.1.4 제조사 사양
 - 가. 작동압력(bar) : 8 ~ 11
 - 나. 설치높이(m) : 4 ~ 13.5
 - 다. 그리드 형태 : 3 × 3
 - 라. 노즐 K 값 : 5.0

2.2 시험기준

2.2.1 노즐 성능시험

: IMO MSC/Circ.668 Appendix A

가. 기준명 : Component manufacturing standards of equivalent water-based fire extinguishing systems.

나. 시험항목 : 유량시험, 수분포확인시험, 부식시험, 내열시험, 진동시험, 충격시험, 클로킹 시험, 염수분무시험, 스테인리스 노즐부품 응력 부식시험, 습공 기노출시험

2.2.2 노즐 소화성능시험

: IMO MSC/Circ.913 Appendix

가. 기준명 : Test method for fixed water-based local application fire-fighting systems

나. 시험항목 : 화재시험

2.3 시험방법 및 성능기준

2.3.1 노즐 성능시험

가. 유량시험

(1) 시험방법

(가) 압력계를 부착한 소화수 공급파이프에 시험용 노즐을 부착한 후 최저사용압력에서 최고 사용압력까지 약 10 퍼센트 간격의 각 압력단계 별로 소화수 유량을 각각 측정하며, 1회에는 압력을 올리면서 2회에는 압력을 내리면서 유량을 측정한다. 시험용 노즐은 2개로 한다.

(나) 최저사용압력에서 최고사용압력까지 약 10퍼센트 간격의 각 압력단계에서의 유량계수 K를 다음 식에 의하여 산정한다.

$$K = Q/P^{1/2}$$

이식에서, P = 압력(bar), Q = 유량(ℓ /min)

(2) 성능기준

2개의 노즐에 대하여 각각 압력단계별로 시험하여 산정한 유량계수 K의 평균 치가 사양서의 ± 5 퍼센트 이내일 것.

나. 수분포확인시험

(1) 시험방법

(가) 시험실의 넓이는 가로 세로 각각 최소 7 미터 × 7미터이거나 최대 설계 넓 이의 300퍼센트 중 큰 것으로 한다.

(나) 4개의 개방노즐을 사양서의 최대간격에 따라 가로 세로 각각 최소 6미터 × 6미터의 모 의천장에 대칭이 되도록 정방형으로 배치하여 소화수 배관 에 설치한다.

(다) 소화수 방출 분포는 단일 노즐의 아래쪽 과, 다수 노즐들의 사이에서 300밀리 미터의 사 각형 용기를 이용하여 측정하며, 노즐과 용기 상부가장자리와의 거 리는 제조자가 규정한 최 대거리로 하고 사양서의 최저 및 최고사용압력 과, 최 저 및 최고 설치 높이로 하여 10분 동안 측정한다

(2) 성능기준

노즐의 유효방출 특성을 확인하고 사양서와 비교 할 것.

다. 부식시험

(1) 시험방법

(가) 물 500밀리리터당 20그램의 소디움 티오 설페이트(Sodium Thiosulphate)의 결정을 용해하여 섭씨 4 5 도의 온도로 조절한 수용액에 노즐의 입구를 플 라스틱 등의 비반응성 마개로 밀봉한 10개의 시험용 노즐을 통상 부착하는 상태로 8일간 침적시키고 침적기간동안 적어도 6일간은 156밀리리터의 황산(normal H₂SO₄, 0.5mol/liter)을 844밀리리터의 물에 희석한 황산용액을매일 20밀리리터씩 첨가한다.

(나) 8일간 침적한 후, 4일에서 7일간 섭씨 35 도 이하의 온도 및 70퍼센트이하의 상대습도에서 건조시킨다.

(다) 위의 시험을 한 후 가.의 유량시험을 한다.

(2) 성능기준

(가) 노즐에 이상이 발생하지 아니할 것.

(나) 가.의 유량시험 판정기준에 따른다.

라. 내열시험

(1) 시험방법

(가) 노즐 1개를 통상 설치방향으로 오븐에 넣고, 15분간 800 ?로 가열한다.그 후 노즐을 꺼내어 나사로 된 입구쪽을 잡고 약 섭씨 15도의 물에 신속히담근다.

(나) 위의 시험을 한 후 가.의 유량시험을 한다.

(2) 성능기준

(가) 손상 및 변형이 없을 것.

(나) 가.의 유량시험 판정기준에 따른다.

마. 진동시험

(1) 시험방법

(가) 노즐 5개를 진동대에 수직으로 부착하고 실온에서 노즐나사의 축방향으로 정현(正弦)진동을 부가한다.

(나) 실온에서 1옥타브당 최대 5분의 비율로 전진폭 2밀리미터로 5에서 40헤 르츠까지 연속적으로 진동을 부가한다.

(다) 공진점이 발견된 경우, 각 공진 주파수에 해당하는 진동을 부가한다. 진동시험시간은 120시간을 공진점의 수로 나눈 시간으로 한다.

(라) 공진점이 발견되지 않는 경우 5에서 40 헤르츠까지 진동을 120시간 부가한다.

(마) 위의 시험을 한 후 가.의 유량시험을 한다.

(2) 성능기준

(가) 손상, 변형 등의 이상이 없을 것.

(나) 가.의 유량시험 판정기준에 따른다.

바. 충격시험

(1) 시험방법

(가) 노즐 5개에 대하여, 노즐의 방수로축에 평행한 중심선을 따라 추를 노즐에 낙하시킨다.

(나) 낙하시킨 추의 충격점에 가해진 운동에너지는 노즐을 높이 1미터에서 낙하시킨 에너지와 같아야 하며 각 노즐에 1회씩 충격을 준다.

(다) 위의 시험을 한 후 가.의 유량시험을 한다.

(2) 성능기준

(가) 손상, 변형 등의 이상이 없을 것.

(나) 가.의 유량시험 판정기준에 따른다.

사. 클로깅(Clogging) 시험

(1) 시험방법

(가) 장치에 여과기 등이 부착된 2개의 시험용 노즐의 유량을 최고사용압력에서 측정한다.

(나) 노즐을 시험장치에 부착하고, 준비한 오수를 사용하여 최고사용압력에서 연속유량시험을 30분간 한 후 노즐의 유량을 최고사용압력에서 측정한다. 여과기 또는 필터와 함께 개방형 노즐의 소화수 흐름율을 노즐의 정격작동압력에서 측정한다.

(다) 시험 중에는 노즐 등을 세정하지 아니하여야 한다.

(라) 오수는 물 60 리터에 대하여 다음 [표 1]에 나타난 오염물질을 포함한 1.58 kg의 오염물질을 혼합한 것으로 시험 중에는 교반(攪拌)을 하여야 한다.

[표 1] 오염물질의 구성

체의 구분	체 구멍의 크기(mm)	오염물질의 양(g)±5 %		
		관의 스케일	표토	모래
No. 25	0.706	-	456	200
No. 50	0.297	82	82	327
No. 100	0.150	84	6	89
No. 200	0.074	81	-	21
No. 325	0.034	153	-	3
	Total	400	544	640

비고 : 오염물질의 양은, 구리 또는 스테인리스강 파이프용으로만 사용이 제한된 노즐은 50 %, 정격압력이 50 bar 이상이고 스테인리스강용으로만 사용이 제한된 노즐은 90 %를 줄일 수 있다.

(2) 성능기준

오수를 흐르게 한 후 유량의 변화가 0 퍼센트 이내일 것.

아. 염수분무시험

(1) 시험방법

(가) 일반 환경용 노즐 5개의 노즐에 대하여

시험한다.

(나) 각 노즐은 탈이온수를 채운 후, 입구를 플라스틱과 같은 비반응 마개로 밀봉하여 챔버내에서 염수분무에 노출시킨다.

(다) 염수용액은 질량기준으로 증류수에 염화나트륨 20 % 및 35 °C에서 분무시 pH가 6.5~7.2 사이가 되어야 한다.

(라) 노즐을 시험챔버 내부에 설치하고, 시험조 내부의 온도를 35±2 °C로 조절하여, 0.7~1.7 bar의 공기압으로 염수를 분무시켜 10일 동안 노출시킨다.

(마) 시험 후, 노즐을 꺼내어 상대습도 70 % 이하, 온도 35 °C 이하에서 4~7일 동안 건조시킨 후 코팅 및 무코팅 노즐이 염수에 대한 충분한 내성을 가지는지를 확인한다.

(2) 성능기준

노즐은 염수에 대한 충분한 내성을 가질 것.

자. 스테인리스 노즐부품 응력부식시험

(1) 시험방법

(가) 유지성분을 제거한 5개의 노즐에 대하여 시험한다.

(나) 노즐에 사용되는 부품들을 온도계와 길이 약 760 mm의 습식 응축기가 부착된 500 ml의 시험용 플라스크 안에 넣고, 플라스크에 중량비 42 %의 염화마그네슘 용액을 1/2 만큼 채워, 전기온도제어 열판 위에서 150±1 °C의 끓는 온도로 500시간 동안 유지시킨 후, 노즐을 꺼내어 탈 이온수로 세척한다.

(다) 25 배 배율의 현미경으로 균열, 박리 또는 기타의 결함 등을 검사한다. 작동부품에 결함이 나타난 부품의 경우에는, 새로운 5개의 시험체에 대하여 스테인 리스강부품에 염화마그

네슘용액의 부식효과에 영향을 미치지 않는 노즐 후레임에 조립하여 유지성분을 제거한 후 상기의 침적시험을 다시 실시하고, 정격작동압력과 동일한 압력을 걸어 1분 동안 시험한 후, 기능시험을 최저 작동압력으로 수행한다.

(라) 비작동 부품에 결함이 나타난 경우에는, 새로운 5개의 시험체에 대하여 염화마그네슘 용액의 침적시험을 다시 실시하고, 정격작동압력과 동일한 압력으로 30분 동안 방사시험을 한다.

(2) 성능기준

(가) 설계기능 및 다른 요건을 충족시키는데 영향을 줄 수 있는 파손이 없을 것.

(나) 영구적으로 부착된 부품이 이탈되는 징후가 없을 것.

차. 습공기 노출시험

(1) 시험방법

(가) 5개의 노즐에 대하여 시험한다.

(나) 시험체를 증류수로 채운 배관 매니폴드(manifold)에 설치하고, 온도가 95 ± 4 °C 이고, 상대습도가 98 ± 2 %인 항온항습조에 90일 동안 노출시킨다.

(다) 90 일 후 시험체를 상대습도가 70 % 이하이고, 온도가 25 ± 5 °C인 곳에 4~7일 동안 건조시킨 후 습공기노출에 대한 충분한 내성이 있는가를 확인한다..

(라) 습공기노출시험 후 정격작동압력의 125 %로 15분간 방사하는 기능시험 (Functional test) 및 4.1.1의 방수량시험을 실시한다.

(2) 성능기준

(가) 습공기 노출에 대한 충분한 내성을 가질 것.

(나) 정격작동압력의 125 %로 15분간 방사하는 기능시험(Functional test)에 이상이 없을 것.

(다) 유량시험의 평균 K값은 제조사 사양 K값의 ± 5 % 이내일 것.

2.3.2 노즐 소화성능시험

(1) 시험방법

(가) 시험장치 설치

- ① 미분무수 설비는 3 × 3 형식의 노즐 격자(Grid)로 구성한다.
- ② 미분무수 노즐은 균일한 간격으로 하방 수직방향으로 설치한다.
- ③ 미분무수 노즐은 천장에서 1미터 이상의 하부에 설치한다.
- ④ 미분무수 노즐의 간격은 제조사 사양에 따라 3.0 m × 3.0 m로 설치한다.

(나) 화재 시나리오

- ① 화재 시나리오는 공칭 1 MW 및 6 MW 분사(Spray)화재 [표 2]로 구성한다.
- ② 연료분사 노즐은 수평으로 노즐 격자의 중심을 향하도록 하여 설치한다.
- ③ 연료분사 노즐은 바닥으로부터 1미터 높이에 설치하고 시험실 벽으로부터 최소한 4미터 이격되도록 한다.
- ④ 연료는 경디젤유(Light diesel oil)를 사용한다.

[표 2] 연료분사 화재특성

연료분사 노즐	분사각(120도에서 125도) 원추형	분사각(80도) 원추형
공칭 유압	8 bar	8.5 bar
연료 유량	0.16 ± 0.01 kg/s	0.03 ± 0.005 kg/s
연료 온도	20 ± 5 °C	20 ± 5 °C
공칭 열 방출율	6 MW	1 MW

(다) 화재시험 내용

- ① 제조사 사양에서 정한 미분무수 노즐의

최소 및 최대작동압력과 미분무수 노즐과 연료 분사 노즐사이의 최소 및 최대 이격거리에 대하여 미분무수 소화설 비의 소화성능을 평가한다.

② 미분무수 노즐과 연료분사 노즐사이의 최소 및 최대 이격거리에서 2개의 화재 시나리오 (1 MW 및 6 MW 연료분사 화재)에 대하여 평가한다.

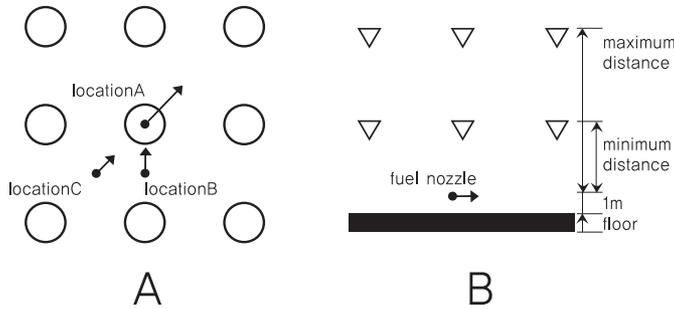
③ 화재시험은 다음의 위치[그림 1]에 연료분사 노즐을 수평으로 설치하고 실시 한다.

㉑ 위치 A : 격자(Grid)중심 내의 1개의 미분무수 노즐 아래.

㉒ 위치 B : 격자(Grid)중심 내의 2개의 미분무수 노즐 사이.

㉓ 위치 C : 4 개의 미분무수 노즐 사이

[그림 1] A : 격자(Grid) 하부에 설치된 연료분사 노즐위치(평면도)
B : 최소-최대 이격거리 및 연료분사 노즐위치(정면도)



(라) 시험절차

- ① 연료분사 노즐에 점화한다.
- ② 점화 후 15초 동안 자유연소 시킨다.
- ③ 15초 자유연소 후 미분무수를 방사한다.
- ④ 화재가 소화되는 시간을 측정한다.
- ⑤ 연료분사 노즐을 소화 후 15초 동안 작동시키면서 재 점화 여부를 확인한다.
- ⑥ 미분무수노즐을 소화 후 1분 동안 작동시킨다.

(2) 성능기준

화재는 미분무수 방출 후 5분 이내에 소화되어야 하며, 소화 후 재점화 되지 않아야 한다.

- 노즐 평균 유량계수(K) : 4.95

3.1.2 수분포확인시험

- 노즐 평균 살수밀도 : 5,276 ml/min/m²

3.1.3 부식시험

- 노즐이상 발생유무 : 이상이 없었음

- 평균 유량계수(K) : 5.01

3.1.4 내열시험

- 노즐 손상, 변형 발생유무 : 손상 및 변형이 없었음

- 평균 유량계수(K) : 5.07

3.1.5 진동시험

- 노즐 손상, 변형 등 이상유무 : 이상이 없었음

- 평균 유량계수(K) : 4.94

3.1.6 충격시험

- 노즐 손상, 변형 등 이상유무 : 이상이 없었음

Ⅲ. 성능평가 결과

3.1 노즐 성능시험

3.1.1 유량시험

- 평균 유량계수(K) : 5.0

3.1.7 클로깅(Clogging)시험

- 유량변화 : 2% 이내였음

3.1.8 염수분무시험

- 염수에 대한 내성유무 : 내성이 있었음

3.1.9 스테인리스 노즐부품 응력부식시험

- 파손, 이탈 등 이상유무 : 파손, 이탈 등 이상이 없었음

3.1.10 습공기 노출시험

- 습공기 노출에 대한 내성 : 내성이 있음
 - 기능시험 : 이상이 없었음
 - 평균 유량계수(K) : 5.02

3.2 노즐 소화성능시험

3.2.1 소화성능시험 Data

미분무수 노즐높이 (m)	작동 압력 (bar)	미분무수 노즐간격 (m)	1 MW 소화시간 (분:초)			6 MW 소화시간 (분:초)		
			a	b	c	a	b	c
4.0	8	3.0	0:05	3:22	0:10	3:47	3:44	2:57
13.5	8	3.0	0:16	0:32	1:03	4:22	1:54	1:47
4.0	11	3.0	0:48	0:22	0:09	0:49	2:10	2:39
13.5	11	3.0	0:21	1:50	0:16	3:31	3:43	0:13

3.4 노즐 소화성능시험 사진



[사진 1] 6 MW 점화

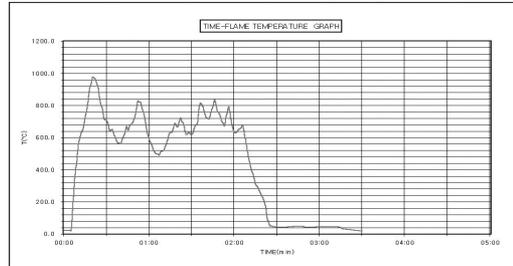


[사진 2] 미분무수 방사



[사진 3] 소화 과정

3.2.2 소화성능시험 시간-온도 곡선(6 MW)



3.3 성능평가 결과 분석

3.3.1 노즐 성능시험

제조사 평가에 의뢰한 단일유체를 이용한 저압의 개방형 미분무수 노즐의 성능을 시험한 결과 10개의 시험항목이 제조사가 제시하는 사양범위에서 기준의 성능에 모두 만족하는 것으로 나타나 국제해사기구(IMO) MSC/Circ.668 기준에 적합한 성능이 있는 것으로 평가되었다.

3.3.2 노즐 소화성능시험

제조사 사양에 따른 개방형 미분무수 노즐의 최소 및 최대 작동압력, 미분무수 노즐과 연료분사 노즐 사이의 최소 및 최대 이격거리, 1 및 6 MW의 화재시나리오에 의하여 총 24회의 소화성능시험결과 모두 미분무수 방출후 5분 이내에 화재가 소화되었으며, 소화 후 재점화 되지 않아 국제해사기구(IMO) MSC/Circ.913 기준에 적합한 화재소화성능이 있는 것으로 평가되었다.

IV. 결론

지구의 오존층 파괴에 따른 하론계열의 가스계 소화설비의 사용 금지에 따라 재개발되기 시작한 미분무수 소화설비는 물을 이용하는 환경친화적인 소화설비로 방호대상물의 종류 및 방출방식의 조건 등에 따라 A급 화재는 물론 지금까지 가스계 소화설비에 의존해 왔던 엔진시설, 터빈시설, 항공기, 해상유전시설, 인화성액체의 보관시설 등의 B급 화재류, 화재에 의한 직접피해 보다는 화재에 수반되는 연기, 부식성 기체, 방수된 물 등의 비열피해에 의한 손실이 심각한 컴퓨터실, 전화교환시설, 이동통신시설, 반도체 시설, 등의 C급 화재류에 모두 적용 가능한 소화설비이다. 본 선박용 고정식 국부소화장치용 저압 미분무수 노즐 성능평가연구를 통하여 성능이 확인된 저압 미분무수 노즐은 선박수주가 많은 국내의 산업특성을 감안할 때 선박의 화재 안전설비를 설치하는 국내의 제조업체 및 선박 제조사의 국가경쟁력을 높이는데 일조할 수 있을 것으로 판단되며, 단일유체를 이용한 저압식의 미분무수 소화설비인 점을 이용하여 이를 응용하는 경우에는 육상의 화재안전설비에도 적용할 수 있을 것으로 판단되며, 앞으로 미분무수 소화설비는 환경친화적이고 비열피해가 거의 없는 장점으로 물 및 가스계 소화설비를 대체하여 선박 및 육상에서 이 설비를 이용한 화재안전소화설비의 설치는 계속 증가될 것으로 판단된다. **FILK**

[참고문헌]

1. 해상인명안전국제협약 (SOLAS) 제 II-2장 Reg.10
- Fixed Pressure Water - Spraying Fire

Extinguishing System in Machinery Spaces. 2000

2. 국제해사기구 (IMO) MSC / Circ. 668 (30 December, 1994)
- Alternative Arrangements for Halon Fire Extinguishing System in Machinery Spaces and Pump - Rooms.
3. 국제해사기구 (IMO) MSC / Circ. 913 (4 June, 1999)
- Guidelines for the Approval of Fixed Water
- Based Local Application Fire
- Fighting Systems for Use in Category a Machinery Spaces.

TIME-FLAME TEMPERATURE GRAPH

