

C-21

고정식 국부소화장치용 저압 미분무수 노즐 개발연구

이찬주, 김영한*

방재시험연구원, *탱크테크(주)

A Development Study of Low Pressure Water Mist Nozzle on Fixed Water-Based Local Application Fire-fighting Systems.

Lee, Chan-Ju, Kim, Young-Han*

Fire Insurers Laboratories of Korea, a Subsidiary of Korean Fire Protection Association

* TANKTECH CO., LTD. Research Institute

1. 서론

산업의 발달과 함께 액체연료의 사용증가에 따른 화재를 방호하기 위하여 선진 각국에서는 1950년대 중반에 미세화된 물분무를 이용하여 액체 및 고체연료의 화재를 소화하는 원리에 대하여 연구가 수행되었으며, 1960년대에 들어서면서 탄화수소계열의 화재를 소화하는데 필요한 물방울의 입자크기 등의 미분무수 소화설비에 대한 개발이 있었으나 Halon 1301 등 할로겐화물 소화약제의 우수한 소화성능을 활용한 가스계 소화설비의 출현으로 미분무수 소화설비에 대한 연구는 중단되고 가스계 소화설비를 중심으로 발전되어왔다. 그러나 가스계 소화설비는 지구의 오존층 파괴 등의 지구 환경에 문제를 가져오기 시작하였다. 이에 따라 1987년 몬트리얼 의정서 발표에 따른 할로겐화물 소화약제의 사용규제로 인하여 미분무수 소화설비가 다시 표출되기 시작하였으며, 많은 인명피해가 발생한 덴마크 연안에서의 스칸디나비안·스타호 화재를 계기로 선박에서의 대형 화재사고예방을 위하여 국제해사기구(IMO : International Maritime Organization)에서는 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 화물선에는 고정식소화장치를 설치하도록 규제(기존 선박은 2005년 까지)하기 시작하면서 선진 각국에서는 선박은 물론 육상시설의 화재안전을 위한 소화설비로서 스프링클러 소화설비 및 할로겐화물 소화설비에 대체할 수 있는 미분무수 소화설비에 대한 연구가 활기를 띠게 되었다. 선박의 A류 기관구역(주1)에는 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 수계 국소방출방식의 미분무수 소화설비의 설치를 의무화하고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 최근에 선박의 A류 기관구역 국부지역의 화재안전설비로 설치하기 위하여 국내·외에서 개발연구가 활발히 진행되고 있는 국제해사기구의 고정식 수계 국소방출방식 미분무수 소화설비용 노즐을 개발하기 위하여 단일유체(청수)을 이용한 저압의 미분무수 노즐을 제작하여 IMO-MS/Circ.913 Appendix^(주2) 시험기준에 따라 소화 성능실험을 수행하였다.

(주1) "A류기관구역"이라 함은 다음의 장치를 가지는 장소와 이들 장소에 이르는 주 통로를 말한다.

1. 주추진용 내연기관 ;또는
2. 주추진 이외의 목적에 사용되는 합계출력 375 KW 이상의 내연기관 ; 또는
3. 기름보일러 또는 연료유장치.

(주2) Test method for fixed water-based local application fire-fighting systems

2. 미분무수 소화설비 개요

2.1 물의 열용량

물은 화재진압용으로 바람직한 물리적 특성을 가지고 있다. 이것의 높은 열용량($1 \text{ Kcal/kgf} \cdot ^\circ\text{C} = 4.186 \text{ KJ/kgf} \cdot \text{K}$) 및 증기의 높은 잠재열($540 \text{ Kcal/kgf} \cdot ^\circ\text{C} = 2,260 \text{ KJ/kgf} \cdot \text{K}$)은 화염이나 연료로부터 상당한 양의 열을 흡수할 수 있다.

2.2 물입자

스프링클러설비의 물입자 대부분은 지름의 크기가 약 $1 \text{ mm}(1,000 \mu\text{m})$ 이상으로 이루어져 있으나 미분무수의 물입자 지름의 크기는 99 %가 $1,000 \mu\text{m}(1 \text{ mm})$ 미만으로 이루어져 있다. 이렇게 작은 크기로 미세화된 액체의 물입자는 표면적의 증가를 가져오고, 화염으로부터 물입자로의 열전달을 급격히 증가시켜 화재주변을 냉각시키고, 연료를 냉각시킴으로서 연료로부터 가스의 발생을 억제하는 역할을 하게 된다. 또한 미세화된 물입자가 증기로 변하면서 부피가 약 1,700 배로 증가하게 되고, 증기로 변화된 물입자는 가연성증기를 희석하여 연소반응을 억제시키고 산소농도를 희석하는 역할을 하게 된다. 미분무수는 액체연료(B급)와 고체연료(A급) 화재모두에 효과적으로 사용될 수 있다. 연구에 의하면 B급 화재의 소화에는 400 미크론 이하의 물입자가 필수적이며, A급 가연물에는 연료를 적시는 효과 때문에 좀 더 큰 물입자가 효과적인 것으로 알려져 있다.

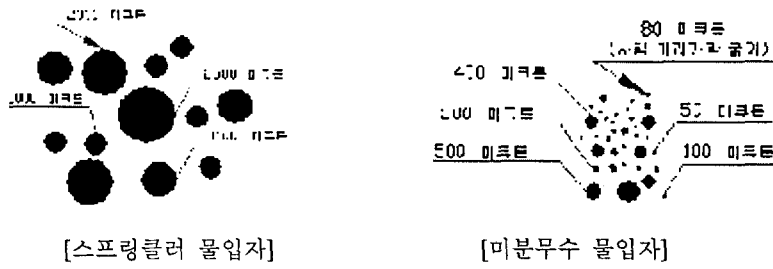


그림 1. 물입자 크기의 비교

2.3 미분무수의 정의

노즐사양의 최저압력으로 방사되는 물입자를 노즐로부터 1 m 떨어진 위치이고, 높이가 1 m 인 위치에서 측정된 물입자 크기의 99 %가 1,000 μm (1 mm)이하 직경을 가지는 물분사를 의미한다.

2.4 소화원리

적절한 물입자의 형성은 화재진압에 있어서 소화의 효과를 증가시킨다. 물분사 물입자의 크기가 적당히 작을수록 표면적이 커지므로 소화효과를 극대화할 수 있다. 미분무수에 의한 화재의 소화원리는 전역방출방식에서는 가스를 이용하는 소화설비와 유사하며, 구역방출방식 및 국소방출방식에 있어서는 스프링클러 소화설비와 유사하다. 화재를 소화하는 원리에는 근본적인 원리와 부차적인 원리로 크게 나누어진다.

표 1. 소화원리 요약

근본원리	열 냉각(축출) (Heat extraction)	- 화염냉각 - 연료표면의 냉각 및 적심(wetting)
	산소 분리 및 희석 (Oxygen displacement)	- 가연물 주위의 산소 분리(국소방출방식) - 방호구역 산소농도 희석(전역방출방식)
	복사열 차단 (Radiant heat attenuation)	- 주위 가연물로의 복사 열전달 차단
부차적 원리	증기/공기 희석 (Vapor/air dilution)	- 구획실 산소농도 희석 - 가연물 증발 연료의 희석
	운동효과 (Kinetic effects)	- 화염속도 감소 - 연소반응 증가 또는 감소

2.5 선박용 국소방출방식 미분무수 소화설비

선박에 사용되는 국소방출방식 미분무수 소화설비는 A류 기관구역에 있는 주엔진, 보조엔진, 연료탱크 등의 국부적인 화재가 기관구역 전체로 확대되는 것을 방지하기 위하여

국부지역에 설치하는 소화설비이다.

3. 소화성능시험장치 및 방법

3.1 소화성능시험장치

(1) 실험실

(가) 바닥면적 : 324 m²(18 m×18 m)

(나) 높 이 : 약 16.5 m

(다) 체 적 : 약 5,346 m³

(2) 미분무수 노즐(실험체) 실험범위

(가) 작 동 압 력 : 12 bar 이하

(나) 유량계수(K 값) : 6.0 이하

(다) 설 치 간 격 : 2.0 ~ 4.0 m

(라) 설 치 높 이 : 0.5 m ~ 15.0 m

(3) 실험장치의 구성

(가) 소화펌프 : 150 m, 700 ℓ/min

(나) 연료분사 펌프 : 12 bar, 100 ℓ/min

(다) 사용연료 : 디젤유

(4) 실험 Data 측정

(가) 화염온도 : K Type 열전대

(나) 압 력 : 압력트렌스미터

(다) 유 량 : 유량계

(라) 산소농도 : 산소농도 측정기

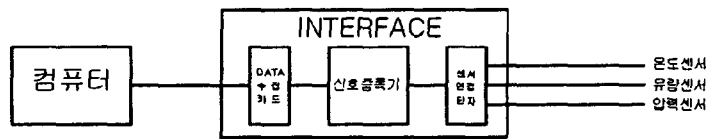


그림 2. 실험 Data 측정 개요도

3.2 소화성능시험방법

(1) 실험체 및 실험장치 설치조건

(가) 미분무수 노즐을 3 × 3 형식 노즐 그리드로 구성함.

(나) 미분무수 설비의 노즐은 균일하게 간격을 지어 하방 수직으로 향함.

(다) 미분무수 노즐은 공간 천장에서 1 미터 하부에 설치함.

(2) 소화성능실험 시나리오

(가) 화재 시나리오는 공칭 1 MW 및 6 MW 스프레이 화재로 구성함.

(나) 연료분사 노즐은 수평으로 노즐 그리드의 중심을 향하도록 하여 설치함.

(다) 연료분사 노즐은 바닥 위 1 m 상에 설치하고 적어도 공간의 벽에서는 4 m 격리 되도록 함.

표 2. 스프레이 화재 특성

연료분사 노즐	스프레이 광각(120도에서 125도)완전 원뿔형	스프레이 광각(80도) 완전 원뿔형
공칭유압	8 bar	8.5 bar
유량	0.16±0.01 kg/s	0.03±0.005 kg/s
오일 온도	20±5°C	20±5°C
공칭 열 방출율	6 MW	1 MW

(3) 소화성능실험 프로그램

(가) 소화성능실험은 미분무수 노즐의 최소 및 최대작동압력과 미분무수노즐과 연료분사 노즐의 최소 및 최대 분리거리(설치높이)로 실험함.

(나) 최소 및 최대 분리거리는 2 개의 화재 시나리오(1MW 및 6 MW 스프레이 화재)에 대하여 실험함.

(다) 소화성능실험은 다음의 위치에 연료노즐을 수평으로 위치시키고 실시함.

- ① 위치 a : 그리드 중심 내에서 1 개의 노즐 아래.
- ② 위치 b : 그리드 중심 내에서 2 개의 노즐 사이.
- ③ 위치 c : 4 개의 노즐 사이.

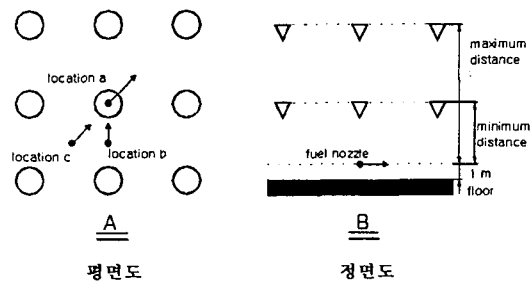


그림 3. 소화실험 연료노즐 위치

(4) 소화성능실험절차

(가) 연료분사 노즐에 점화하여 15 초 동안 자유연소 시킨다.

- (나) 15 초 자유연소 후 미분무수를 방사한다.
- (다) 화재가 진화되는 시간을 측정한다.
- (라) 연료분사 노즐을 진화 후 15 초 동안 작동시키면서 재 점화 여부를 확인한다.
- (마) 미분무수 노즐을 진화 후 1 분 동안 작동시킨다.

4. 소화성능실험결과 및 분석

4.1 소화성능실험결과

(1) Model L

미분무수 노즐높이 (m)	작동압력 (bar)	미분무수 노즐간격 (m)	1 MW 소화시간 (분:초)			6 MW 소화시간 (분:초)		
			a	b	c	a	b	c
1.5	7	3.0	0:50	0:28	0:38	3:22	0:26	0:25
4.0	7	3.0	0:40	0:31	0:30	0:26	1:52	2:53
1.5	10	3.0	0:24	0:13	0:25	0:28	0:18	0:15
4.0	10	3.0	0:27	1:23	0:14	1:19	1:53	0:29

(2) Model H

미분무수 노즐높이 (m)	작동압력 (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

4.2 소화성능실험결과 분석

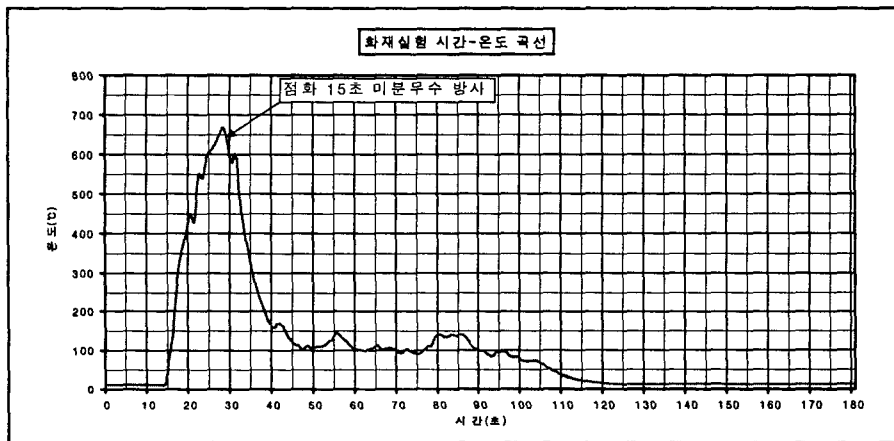
(1) 소화내용 분석

선박용의 고정식 국소방출방식 미분무수 소화설비용 노즐의 개발을 위한 소화성능실험에서 화재의 소화는 미분무수 노즐로부터 방사된 물방울 중 상대적으로 작은 물방울은 방출된 열에 의해 증발되면서 방호대상물 주위를 냉각시키는 작용을 하고, 상대적으로 큰 물방울은 연소되고 있는 화염 속으로 침투하여 가연성 증기를 희석 및 냉각시키는 작용을 함으로서 화염은 점차적으로 축소되고 결국에는 방호대상물 주위 및 가연성증기가 연소점 이하로 냉각되어 소화되는 것으로 판단된다.

(2) 실험결과 분석

선박용의 고정식 국소방출방식 미분무수 소화설비용 노즐의 개발을 위한 소화성능실험에서 개발된 2종의 저압 미분무수 노즐은 노즐의 사양범위 및 실험 장치의 설치조건 범위에서 열량 1 MW 화재는 4 분 이내에 소화가 되는 것으로 나타났고, 6 MW 화재는 5 분 이내에 소화가 되는 것으로 나타나 2 종의 저압 미분무수 노즐은 해상인명안전국제협약 선박 A류 기관구역 국부지역의 화재 안전설비의 설치에 필요한 성능이 있는 것으로 나타났다.

4.3 소화성능실험 시간-온도 곡선



5. 결론

지구의 오존층파괴에 따른 하론계열의 가스계소화설비의 사용 금지에 따라 개발되기 시작한 미분무수 소화설비는 물방울의 입자를 미세화 하여 방호대상물 및 방호구역에 방사하여 미세화된 물방울이 증발되면서 물이 가지고 있는 열용량을 극대화함으로써 방호대상물 주위 및 방호구역을 냉각시키고, 물방울의 증발에 의한 체적 팽창으로 가연물 주위 및 방호구역의 산소농도를 희석시킴 등으로 화제를 제어, 진압하는 소화설비로 기존의 물 소화설비 및 가스계 소화설비의 비열피해(오존층 파괴, 지구 온난화, 물, 연기, 부식성 기체 등)의 단점을 보완한 환경친화적인 소화설비이다. 본 선박용의 고정식 국소방출방식 미분무수 소화설비용 노즐의 개발을 위한 단일유체를 이용한 저압 미분무수 노즐의 소화성능실험연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 선박용의 국소방출방식 미분무수 소화설비의 설치에 필요한 노즐의 작동압력, 방출계수, 살수밀도, 설치간격, 설치높이 등의 세부적인 설계에 필요한 사양을 정할 수 있었으며, 정해진 미분무수 노즐의 세부사양은 다음과 같다.

구 분	Model L	Model H	비 고
작동압력(bar)	7~10	8~11	· 방출방식 : 국소방출방식 · 사용연료 : 디젤유 · 노즐그리드 : 3 × 3 형 · 열방출율 : 1 MW 및 6 MW
방출계수(K)	5.6	5.0	
설치간격(m)	3.0	3.0	
설치높이(m)	1.5~4.0	4.0~13.5	

2. 실험용의 미분무수 노즐을 제작하고 다양한 범위의 작동압력, 방출계수, 설치간격, 설치높이를 변경하여 소화성능실험을 실시한 결과 방호대상물의 종류 및 설치조건에 따라 미분무수 노즐은 설계에 필요한 사양을 성능실험을 통하여 정하여야 하는 것을 확인할 수 있었으며, 실험에서 나타난 미분무수 노즐의 소화특성은 다음과 같다.

- 가. 방호대상물의 소화에 필요한 미분무수 노즐의 살수밀도는 방호대상물의 조건 및 방출방식의 종류에 따라 소화성능실험을 통하여 결정 하여야 한다.
- 나. 국소방출방식의 미분무수 소화설비는 미분무수 노즐의 설치간격이 넓을수록 방호대상물을 소화하는데 어려움이 있었다.
- 다. 본 실험에서 미분무수 노즐의 설치높이를 실험실의 여건으로 개발된 노즐의 설치높이 이상으로 할 수 없었으나 설치높이 1.5 m 이하에서 6 MW 화재는 소화성능이 없는 것으로 나타나 열 방출율이 큰 스프레이 화재는 가연물과 노즐의 거리가 짧을수록 화재소화가 어렵다는 것을 알 수 있었다.

3. 6 MW의 열량으로 5 분간 자유연소 시키면서 측정한 산소농도는 20 % 이상을 유지하는 것으로 나타나 국소방출방식의 미분무수 소화설비는 질식소화 효과는 없는 것으로 나타났고, 냉각 및 가연성 증기의 희석이 주요 소화작용을 하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 해상인명안전국제협약 (SOLAS) 제II-2장 Reg.10 5.6, Fixed local application fire-fighting systems. (2000).
2. 국제해사기구 (IMO) MSC / Circ. 913, Guidelines for the Approval of Fixed Water-Based Local Application Fire-Fighting Systems for Use in Category a Machinery Spaces. (4 June 1999).
3. 국제해사기구 (IMO) MSC / Circ. 668, Alternative Arrangements for Halon Fire Extinguishing System in Machinery Spaces and Pump-Rooms. (30 December 1994).
4. NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems. (2000 Edition).
5. NFPA Handbook Eighteenth Edition Section 6/Chapter 15, Water Mist Fire Protection Systems. (1997).