

Ro-Ro 구역용 미분무 소화설비의 개발을 위한 실험적 연구

곽지현[†] · 김영한¹

(원고접수일 : 2013년 8월 22일, 원고수정일 : 2013년 10월 25일, 심사완료일 : 2013년 10월 31일)

An experimental study on development of water mist fire-fighting systems for Ro-Ro spaces

Ji-Hyun Kwark[†] · Young-Han Kim¹

요약: 선박의 Ro-Ro 구역이나 특별범주구역의 화재방호를 위해 설치하는 고정식 수계소화설비의 개발 및 실용화를 위해, 특히 방수량이 적으며 관련기준에서 요구하는 성능요건을 만족하는 미분무 노즐을 개발하고자 실물화재실험을 수행하였다. 본 설비의 화재시나리오는 크게 두 가지로 트럭화물화재와 승용차화재로 구분되며, 각각 고정 설치된 미분무 노즐과 화원과의 세 가지 위치에 대한 시나리오로 이루어져 있다. 모든 화재실험은 30분간 진행되었으며 천장부의 가스온도와 우드펠릿의 손상율, 타깃합판의 착화여부로 판단되었다. 본 논문은 두 가지 화재실험 중 조건이 더욱 까다로운 트럭화물용 미분무 노즐의 결과를 위주로 방수압력과 방수량, 미분무수의 유동특성에 따른 화재실험결과와 화재진압특성을 고찰하였으며, 수십 회의 반복실험 결과 분당 약 40 L의 유량을 가지는 저압 미분무 노즐로 Ro-Ro구역의 화재진압이 가능한 것으로 나타났다.

주제어: Ro-Ro 구역, 미분무 노즐, 실물화재실험, 트럭화물화재

Abstract: Large scale fire tests were conducted to develop water mist nozzles as a component of fixed water-based fire fighting systems for Ro-Ro spaces and special category spaces. Fire scenarios for this system consist of two cases which are for cargo fire in a simulated truck and for passenger vehicle fire, and each case has 3 different tests according to the position between fixed water mist nozzles and fire source. Every experiment proceeded for 30 minutes and acceptance criteria were based on gas temperature, fuel package's damage and ignition of targets. This study primarily dealt with the experimental results of cargo fire and focused on fire suppression capability in accordance with discharge pressure, flow rate and flow characteristics like swirl and penetration of the developed water mist nozzles. It appeared that low pressure water mist nozzles with about 40 L/min were able to control fire occurred in Ro-Ro spaces.

Key words: Ro-Ro spaces, Water mist nozzle, Large-scale fire test, Cargo fire

1. 서 론

선박의 특수범주구역에 설치하는 고정식 수계소화설비의 권장안이 1967년 IMO Res.A.123(V)으로 결의된 이후 최근 국제해사기구 해사안전위원회의

FP(방화안전) 분과위원회는 이 기준에 대한 화재모형 및 세부시험절차, 성능요건 등을 마련하여 제84차 회의(2008년 5월)에 상정하였으며 해사안전위원회는 같은 해 6월에 Ro-Ro 구역 및 특별범주구역

[†]Corresponding Author: Fire Extinguishment and Combustion Team, FILK, Ganam-myeon, Yeosu-si, Gyeonggi-do, 469-881, Korea, E-mail: kwark@kfpa.or.kr, Tel: 031-887-6600

¹ R&D Division, Tanktech Co., Ltd. E-mail: tanktech@tanktech.co.kr, Tel: 051-979-1633

에 설치하는 고정식 수계소화설비의 승인을 위한 가이드라인이라는 제목의 MSC.1/Circ.1272로 공표하였다[1][2]. 이후 위원회는 2012년 5월 제90차 회의에서 기존의 실물화재시험에 의한 성능위주요건 외에 사양위주의 요구사항을 통합하여 업데이트 시킨 개정 가이드라인을 같은 해 5월 31일에 MSC.1/Circ.1430으로 공표하기에 이르렀다[3]. 이 기준의 부록(appendix)에는 Ro-Ro 구역에 설치하는 고정식 수계소화설비의 실물 화재시험방법 및 성능요건이 상세히 기술되어 있는데 본 연구에서는 이러한 용도에 사용하기 위해 보다 실용적이고 경제성을 제고한 미분무 소화설비의 개발을 위해 실물 화재시험을 실시하여 화재진압성능을 고찰하였다.

현재 선박의 각 방호구역에 설치하는 수계소화설비는 대부분 미분무 소화설비로 제조자에 따라 사용압력과 방수량이 다르며, 특히 미분무 노즐의 형태와 분사특성에 따라 화재진압특성이 크게 달라지게 된다. 본 연구에서는 특히 화재하중이 크고 화재강도가 높은 차량적재구역의 화재진압을 위한 미분무 노즐의 개발과 실용화를 위해 미분무수의 유동특성에 따른 화재진압성능을 고찰해 보고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 화원 및 화재모형

IMO MSC.1/Circ.1430에 의하면 화재시험은 각각 모의화물트럭과 승용차에 대한 시험으로 구분되며 각 화재시험은 화원의 중심이 노즐 직하부에 있을 때, 두 개의 노즐 사이에 있을 때, 네 개의 노즐 사이에 있을 때의 세 가지 경우에 대해 실시하였다. 각 시험은 300 m² 이상의 바닥면적과 8 m 이상의 천장높이를 가지는 Fire room에서 실시하였는데 각 화재시험에 사용되는 화원 즉, 가연물은 EUR 표준 우드펠릿을 쌓아서 만들었으며, 모의화물트럭시험의 경우 전체 크기가 7.5 m(L)×2.5 m(W)×4.0 m(H)에 이른다[4].

시험은 연료패키지 중단 하부에 있는 연료팬에 헵탄을 담아 점화하고 2분 30초간 자유연소한 뒤 30분간 소화장치를 가동시켜 진행하였으며, 시험기간 동안 천장에 설치한 열전대로 최고평균온도

와 우드펠릿의 손상을, 타겟합판의 착화여부를 통해 성공여부를 판단하였다. 자세한 실험방법 및 성능요건은 본 학회지 제36권 제6호에 게재한 「선박 Ro-Ro 구역의 화재방호를 위한 고정식 수계소화설비의 화재시험절차 및 성능요건 소개」라는 해설기사에서 기술하였다[5].



Figure 1: Cargo fire in a simulated truck



Figure 2: EUR standard wood pallet

2.2 미분무노즐

본 Ro-Ro 구역에 적용하고자 개발한 미분무 소화설비용 노즐은 저압용 미분무 노즐 2종으로 최소사용압력이 모두 6 bar이며, 이 압력에서 설계유량은 각각 트럭화재용이 41 L/min, 승용차화재용이 20 L/min이다. 트럭용 노즐은 최대높이 5 m 이하의 차량적재구역까지 설치가 가능하며, 승용차용 노즐은 최대 2.5 m 높이의 차량구역에만 설치가 가능하다.

노즐의 형상은 끝이 무딘 원추형으로 헤드 더미

가장자리를 따라 8개의 노즐팁과 중심부에 1개의 노즐팁이 고정되어 있고, 재질은 STS 316이다. 본 노즐은 수십 차례의 반복실험을 통해 최적화된 설계사양을 갖추게 되었으며 노즐 간 최대설치간격은 4 m 이다. 이 노즐의 분무특성은 노즐팁을 통해 방출되는 미분무수의 선회특성과 관통력, 액적 크기에 따라 크게 달라진다. Table 1에 개발된 미분무 노즐의 주요사양을 나타내었다.

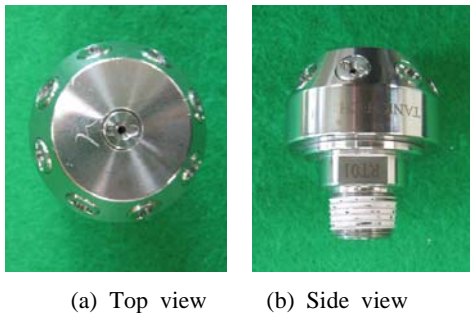


Figure 3: Water mist nozzle for cargo fire

Table 1: Specification of water mist nozzles

Item	For cargo fire	For passenger vehicle
Model	RT	RV
Material	STS 316	STS 316
Type	open	open
Minimum pressure(bar)	6	6
Flow rate (L/min)	41	20
Nozzle space(m)	4	4
Nozzle height(m)	5	2.5

3. 실물화재실험 결과 및 고찰

3.1 방수압력 및 방수량에 따른 화재진압성능 고찰

본 논문에서 실험결과는 최대높이 5 m 까지 설치가 가능한 트럭화재용 미분무 노즐의 화재실험 결과를 위주로 고찰하고자 한다. 모의화물트럭 화

재실험은 앞 장에서 설명한 바와 같이 소화노즐에 대한 화원의 위치에 따라 세 가지 화재시나리오에 대해 실시하였다. Ro-Ro 구역에서 화재발생 시 미분무노즐은 격자 모양으로 배치되어 있으므로 화원의 위치는 노즐 직하단에 있거나 두 개의 노즐 사이에 있거나 또는 네 개의 노즐 사이에 있게 된다. 어느 경우에 대해서도 적절한 화재진압이 가능해야 하므로 모든 경우의 수에 대해 실물화재실험을 수행하여 성능이 입증된 경우 유효한 고정식 소화설비로서 인정받을 수 있으며, 이를 위해서는 최적의 분무특성과 설치간격, 방수량 등이 설계되어야 한다.

최근 대형선박에 설치되는 고정식 수계소화설비는 미분무소화설비가 주를 이루고 있는데 이는 적은 유량으로 적절한 화재진압성능이 확인되고 있기 때문이다. 특히 유류화재에도 적용이 가능해 이미 오래 전부터 기관실에 설치가 되어오고 있으며 주방의 조리기구화재, 선실과 복도, 공공장소, 저장창고와 같은 구역에까지 적용성이 있는 노즐이 개발되어 사실상 선박의 모든 구역에 적용이 되고 있다.

이러한 성능에 힘입어 화재하중이 크고 한 번 화재가 발생하면 급격히 연소가 확대될 위험이 큰 Ro-Ro 선박과 차량적재구역에도 본 미분무소화설비를 적용하고자 2008년에 실물화재실험을 위한 세부절차가 마련되었으며 이의 성능요건을 만족하는 소화노즐이 개발되었는데, 현재 세계 주요 선급의 인증을 받은 제품은 핀란드 M사의 노즐뿐이므로 이러한 용도의 기술개발과 적용이 얼마나 어려운지 쉽게 추측할 수 있다.

본 연구에서 층고 5 m 이하의 Ro-Ro 구역에 설치할 수 있는 미분무노즐의 개발은 본 노즐의 장점을 최대한 살리고 타 제품과의 경쟁력을 극대화하기 위해 사용압력은 가급적 낮게, 유량은 적게 설계하는 것을 기본개념으로 출발하였다.

소화설비의 화재실험은 기관실의 유류화재와 같이 완전소화(Fire extinguishment)를 목표로 하는 것과 Ro-Ro 구역과 같이 화재제어(Fire control)를 목표로 하는 것이 있는데, 차량의 화재는 내부에서 또는 적재물에서 발생할 경우 발화점이 차폐되어 소화수가 차량 내부까지 침투해 완전소화 되기는 무척 어려우므로, 화재가 더 이상 성장하지 않고

Table 2: Experimental results(ignition under one nozzle)

Case	Fire source	Nozzle space(m)	Min. press. (bar)	Flow rate (L/min)	Max. averaged Temp. concealed/open (°C)	Wood pallet damage (%)	Ignition on target panels	Result
1	under one nozzle	4	8	20	392/370	43	ignited	failed
2			10	29	322/305	42	ignited	failed
3			8	40	210/136	18	not ignited	succeeded
4			6	41	31/28	3	not ignited	succeeded

Table 3: Experimental results(ignition between two nozzles)

Case	Fire source	Nozzle space(m)	Min. press. (bar)	Flow rate (L/min)	Max. averaged Temp. concealed/open (°C)	Wood pallet damage (%)	Ignition on target panels	Result
1	between two nozzles	4	8	27	308/310	40	ignited	failed
2			10	30	330/315	36	ignited	failed
3			6	30	297/384	38	ignited	failed
4			8	35	221/251	32	not ignited	succeeded
5			6	41	32/29	3	not ignited	succeeded



Figure 4: Plywood panel target

인근 차량에 확대되지 않도록 화세를 제어해주는 원리가 적용된다. 이러한 경우 화재진압의 판정여부는 주로 화재실험이 진행되는 동안의 천장부의 열기류 온도로 판단하는데, 이 온도가 일정한 값 이하로 유지되면 화재가 확대되지 않고 일정한 크기로 제어되는 것으로 판단한다. 또한 IMO MSC.1/Circ.1430에서는 열기류 온도 외에 가연물

옆에 세워진 타겟합판의 착화여부와 가연물의 표면 손상율도 함께 고려하여 적부 여부를 판정하게 된다.

층고 5 m 이하 Ro-Ro 구역의 방호를 위한 개발 초기의 노즐은 최대설치간격 4 m, 최소사용압력 8 bar에서 방수량 20~23 L/min을 가지는 노즐을 제작하여 화재실험을 실시하고 성능을 고찰하였다. 그 결과 천장부의 최고 평균온도가 350 °C를 초과하고 타겟합판에도 착화되어 화재진압성능이 불량하게 나타났으며 우드팠릿의 손상율도 한계치인 45%에 육박하여 더 많은 방수량이 필요함을 알 수 있었다. 따라서 노즐 사양을 개선하여 최소사용압력을 10 bar로 증가시키고 방수량도 29 L/min으로 늘여 실험을 실시하였는데 그 결과 역시 천장부 온도가 300 °C를 초과하고 타겟합판에도 착화되어 성능요건을 만족하지 못하였다.

여러 차례의 반복된 실험 결과 방수량이 더욱 필요하다고 판단하였고 최소사용압력 8 bar에서

Table 4: Experimental results(ignition between four nozzles)

Case	Fire source	Nozzle space(m)	Min. press. (bar)	Flow rate (L/min)	Max. averaged Temp. concealed/open (°C)	Wood pallet damage (%)	Ignition on target panels	Result
1	between four nozzles	4	8	33	150/246	40	ignited	failed
2			8	40	109/207	38	not ignited	succeeded
3			6	41	39/37	3	not ignited	succeeded

40 L/min의 방수량을 가지는 노즐을 적용한 결과 최고 평균온도 210 °C를 기록하며 타겟합판에도 착화되지 않고 성공하였다. 그 이후 미분무노즐의 성능 경쟁력 확보차원에서 사용압력을 좀 더 낮추어 6 bar에서 41 L/min의 방수량으로 실험한 결과 최고 평균온도가 50 °C도 이하이며 우드패릿의 손상율도 5 % 미만인 우수한 성능의 미분무 노즐을 얻을 수 있었다. 위 실험결과들을 표로 정리하여 나타내면 **Table 2-4**와 같다.



Figure 5: Water mist discharge



Figure 6: Damage to the fuel package

3.2 미분무수의 유동특성에 따른 화재진압성능 고찰

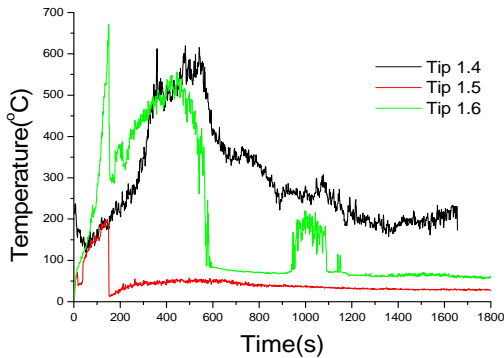
본 연구에서 개발한 미분무 노즐은 미분무수 즉, 워터미스트의 생성 시 유동특성을 좌우하는 관통력과 선회력의 크기에 따라 화재진압성능이 달라지게 된다. 즉, 관통력(Penetration)이 커지게 되면 미분무 액적의 운동에너지가 증가하여 화염 내부로의 침투력이 증가하고 가연물 표면까지 소화수가 침투하여 냉각소화 효과가 커지게 되므로 일반 가연물(A급)의 소화에 유리하게 된다. 반면 선회력(Swirl intensity)이 커지게 되면 분사각도가 넓어지고 액적의 미립화가 촉진되어 증발효과가 높아져 수증기 발생이 용이하게 되고 이로 인한 질식소화 효과가 커지므로 유류화재(B급)의 소화에 유리하게 된다. 따라서 두 가지 유동특성이 적절히 조화를 이루어야 화재진압능력이 극대화되며, 이 때 방호대상물의 특성에 따라 두 가지 힘의 최적 조합은 달라지게 된다.

Table 5: Experimental condition

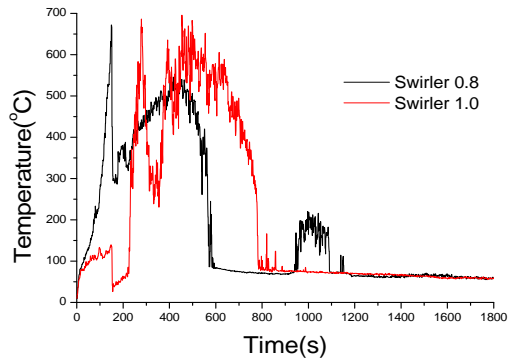
Condition	Swirler hole size(mm)	Tip hole size(mm)	Note
Case 1 Case 2 Case 3	0.8	1.4 1.5 1.6	Penetration effect 1
Case 4 Case 5 Case 6	1.0	1.6 1.8 2.2	Penetration effect 2
Case 7 Case 8	0.8 1.0	1.6	Swirl effect 1
Case 9 Case 10	0.8 1.0	1.4	Swirl effect 2

본 연구에서 개발한 미분무 노즐은 팁 구경의 크기와 선회기 홀구경의 크기를 조절하여 각각 관통력과 선회력의 크기를 조절할 수 있도록 설계되었으며, 이러한 조건에 따른 화재진압성능을 고찰해 보고자 하였다(Table 5).

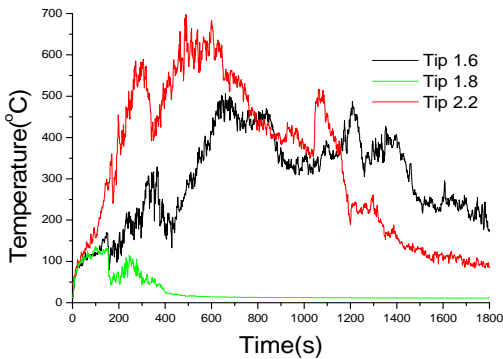
먼저 선회기 홀의 구경을 0.8 mm로 고정한 상태에서 노즐팁 구경의 크기를 1.4~1.6 mm로 달리하며 관통력의 증가에 따른 화재진압성능을 고찰한 결과 Figure 7 (a)에서처럼 일정한 크기의 관통력을 가질 때 온도제어효과가 향상되는 것으로 나타났다. 또한 선회기 홀 구경이 1.0 mm일 때 팁구경의 크기를 1.6~2.2 mm로 달리하며 화재진압성능을 고찰한 결과 Figure 7 (b)와 같이 관통력이 너무 크거나 작지 않은 값에서 화재진압성능이 극대화 되는 것으로 나타났다.



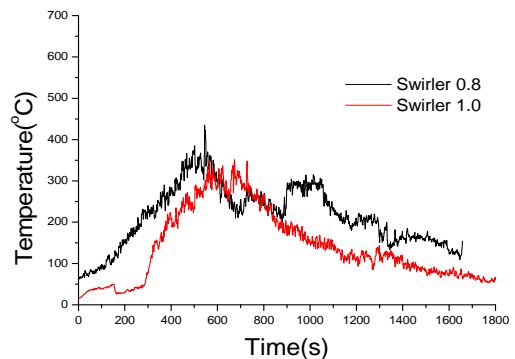
(a) Swirler hole 0.8mm



(a) Tip hole 1.6mm



(b) Swirler hole 1.0mm



(b) Tip hole 1.4mm

Figure 7: Fire control capability(Penetration effect)

Figure 8: Fire control capability(Swirl effect)

4. 결 론

본 연구에서 Ro-Ro 선박이나 대형 선박의 차량 적재구역의 화재방호를 위한 미분무 노즐의 개발을 위해 IMO Circ. document에 규정된 일련의 시험 절차에 따라 수십 회의 실물화재실험을 실시하고 화재진압성능을 평가하여 이의 실용성을 실험적으로 고찰하였다.

모의 화물트럭의 화재시험은 화물차량에 적재하는 다량의 화물에 화재가 발생하였을 때의 화재진압능력을 검증하는 시험으로, 가연물 상단의 반이 차폐되어 있고 목재와 같은 일반가연물이 주를 이루므로 심부화재 가능성이 높아 소화수의 적절한 침투가 없이는 유효한 소화작업이 어려워 본 소화설비의 개발과정에서 많은 시행착오를 반복하였으며, 다양한 조건의 유동특성인자를 반영하여 이러한 구역에서의 화재제어가 가능한 미분무 노즐의 개발에 성공하였다. 그 결과 차량화물의 유효한 화재제어를 위해서는 분당 40 L 이상의 방수량과 적절한 분사특성이 요구되며 기존의 스프링클러 보다는 유량이 적으나 고압의 미분무 노즐 보다는 다소 유량이 많으며 저압의 물분무 노즐과 유사한 특성의 설비가 요구되는 것으로 나타났다. 또한 같은 유량과 방사각도를 가지더라도 소화수의 선회력(Swirl)과 관통력(Penetration)의 조합에 의해 미분무수의 소화특성이 크게 달라지므로 이에 대한 적절한 설계도 중요할 것이다. 이상의 연구결과로부터 앞으로 대형 선박이나 특수선의 더욱 많은 구역의 화재방호에 있어 미분무 소화설비의 역할이 증대될 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] J. H. Kwark, "Test method and requirements of fixed water-based fire-fighting systems for the fire protection of Ro-Ro spaces," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 36, no. 6, pp. 744-748, 2012.
- [2] IMO Resolution A.123(V), "Recommendation on fixed fire extinguishing systems for special category spaces(SOLAS Regs II-2/37, 53 and 54)," 1967.
- [3] IMO MSC.1/Circ.1272, "Guidelines for the approval of fixed water-based fire-fighting systems for Ro-Ro spaces and special category spaces equivalent to that referred to in resolution A.123(V)," 2008.
- [4] IMO MSC.1/Circ.1430, "Revised guidelines for the design and approval of fixed water-based fire-fighting systems for Ro-Ro spaces and special category spaces," 2012.
- [5] ISO 6780, "Flat pallets for intercontinental materials handling - Principal dimensions and tolerances," 2003.
- [6] International Maritime Organization, SOLAS Regulation II-2/37, 53 and 54.
- [7] I. C. Jung and K. H. Lee, "Characteristics of ignition and micro-explosion for droplets of water-in-fuel emulsion," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 1, pp. 1-8, 2013.
- [8] K. H. Park and J. G. Kim, "Assessment of Turbulence Models for Engine Intake and Compression Flow Analysis," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 32, no. 8, pp. 1129-1140, 2013.
- [9] J. R. Mawhinney, "Fire protection water mist suppression systems," *NFPA Handbook 18th Edition*, 1997
- [10] Z. Liu and A. K. Kim, "A review of water mist fire suppression systems-Fundamental studies," *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 32-50, 2000.