



여객선 선실 적용을 위한 미분무수 소화설비의 실험적 연구

한용식^{*}· 최병일^{*}· 김명배^{*}· 이유환^{*}· 도규형^{*}, 김창^{**}

^{*} 한국기계연구원, ^{**}(주)윈

An experimental study on the application of water mist system in cabin on a passenger ship

Han, Yong Shik^{*}· Choi, Byung Il^{*}· Kim, Myung Bae^{*}· Lee, Yu Whan^{*}· Do, Kyu Hyung^{*}, Kim, Chang^{**}

^{*} KIMM, ^{**} WIN

요 약

여객선의 선실(cabin)에 적용하기 위한 미분무 소화설비(water mist system)가 개발되었다. 미분무 헤드는 8개의 오리피스로 구성된 조기반응 응답특성을 가진 폐쇄형으로, 사용압력과 유량계수(Flow constant)는 각각 1.4MPa과 13.1이다. IMO(국제 해사기구)의 거주구역 소화시스템 성능기준인 Resolution MSC.265(2008)는 선실 적용을 위해 4개의 화재시나리오에 대한 성능판정 기준을 제시하고 있는데, 본 연구에서는 4개의 화재시나리오를 적용한 실험실시험을 수행하였으며, 이 기준에서 제시한 성능 판정기준을 만족하는 결과를 얻었다. 2011년 국가화재안전 기준 NFSC 104A 기준 정립으로 국내에 도입되기 시작한 미분무소화설비가 적용분야를 넓혀 가는데 도움이 되길 기대해 본다.

1. 서 론

우리나라에서도 2011년 11월 24일 미분무소화설비의 화재안전기준(NFSC 104A)이 제정됨에 따라 국내 육상용에서 정식으로 미분무소화설비가 적용될 수 있는 근거가 마련되었다. 미분무소화설비가 상업적으로 가장 먼저 적용된 분야는 조선분야이다. 1987년 서명된 몬트리올 협약에 의해 오존층을 파괴하는 CFC 계열의 화학물질 제조가 1994년부터 금지됨에 따라 할론 1301로 대표되던 선박용 소화설비는 대체 소화설비 개발에 주력하였으며, 2002년 7월 기관구역 국소방출방식의 소화설비 설치 의무화 되면서 선박 기관구역 적용을 위한 미분무소화설비에 대한 연구가 활기를 띄게 되었다.[1-3]

사양적 지침이 적용되는 소화설비인 스프링클러(sprinkler)와는 달리 미분무소화설비는 성능기반의 소화설비로, 설치공간에 대한 화재진압성능 기준을 포함하는 화재시나리오가 먼저 제시된 후 기준에 따라 화재진압성능이 확인되어야만 비로소 소화설비로서 설치가 가능한 특징을 가진다. 본 논문은 이제 시작하는 육상용 미분무소화설비에 대한 화재진압성능 기준을 마련하는데 도움이 되기 위해 선박 거주구역의 화재진압성능평가 실험을 소개하고자 한다. IMO(국제해사기구)가 제정한 거주구역 화재진압 기준인 IMO MSC 265(84)[4]에 따른 선실(cabin)에 대한 4개의 화재시나리오를 적용한 실험실시험을 수행하였으며, 이 기준이 요구하는 온도 분포 및 소화설비 작동신호를 측정하였고, 가연물 잔량에 대한 결과를 제시하였다. 이런 실험결과들을 살펴봄으로서 국내에 도입되기 시작한 미분무 소화시스템이 적용분야를 넓혀 가는데 도움이 되었으면 한다.

2. 실험장치 및 방법

소화설비의 화재진압성능을 평가하기 위해서는 적용공간에 대한 화재시나리오의 정립이 중요하다. 화재시나리오는 화재공간에서 발생 가능한 화재의 종류 및 화재 하중 등을 고려하여 작성되는데, 기

존의 화재사고 사례 분석[5] 등을 통하여 결정되어 진다.

선박 거주구역 미분무소화설비 화재안전기준은 IMO MSC 265(84)[4]에 정의되어 있다. 선실의 경우 침대로 사용하는 매트리스가 주요 가연물이며, 복도에서는 카트에 적재된 청소도구 혹은 매트리스가 주요 가연물로 고려할 수 있다. IMO에서는 선실 화재 시나리오로 화원의 위치에 따른 화재, 거주자의 방화에 의한 화재 및 헤드 고장을 고려한 4가지 경우를 제시하고 있으며, 복도에서는 분무헤드와 가연물의 위치에 따른 2가지 시나리오가 반영되었다. 화재 진파 특성이 시나리오마다 다르기 때문에 각각의 특성을 고려한 최대 허용 온도 및 가연물의 잔량이 성능 판단 기준으로 제시된다.

여객선 선실 및 복도에 대한 실물화재 실험 mock-up 형상과 mock-up을 구성하는 내장재 및 가연물에 대한 조건을 시험 기준에서 정의하고 있다. 선실(cabin)은 3m(L)x4m(W) x2.4m(H)의 공간크기에 0.8m(W)x2.2m(H)의 출입문을 가진다. 복도공간은 12m(L)x1.5m(W)x2.4m(H)의 양쪽이 개방된 회랑형태로 가운데 부분에 선실 출입문이 배치된다. 실험 mock-up은 환기가 원활한 대형 실험 공간 내에 설치하였으며, 기준에서 요구하는 성능을 가진 흡음 단열재와 합판을 사용하여 실험 Mock-up을 제작하였다. 주된 가연물인 매트리스 역시 규격에 합당한 재료를 공인기관의 시험결과를 통해 물성 값을 확인한 후 사용하였다. 미분무헤드는 8개의 오리피스로 구성된 노즐로, 작동압력이 1.4MPa이고, 유량계수는 13.1을 가지는 폐쇄형 헤드로, 열감지부로 JOB F2.5 형식을 채택하였으며, 선실공간에 1개, 복도 공간에는 2.5m 간격으로 4개를 설치하였다.

미분무소화설비의 화재제어 능력을 평가하기 위해서는 화재 공간 내의 온도와 내장재 표면온도의 계측이 필수적이다. 시간에 따른 계측 온도 값이 열전대의 설치 위치 및 열전대의 용접부 비드(bead)의 직경에 따라 달라지기 때문에 시험기준은 제작된 열전대의 용접부 비드의 직경을 5mm 이하로 제작하도록 규정하고 있다. 기준에서는 30초 평균한 온도 값으로 허용 값을 제시하고 있는데, 본 연구에서는 0.5초 간격으로 온도를 계측한 후 30초 평균하여 사용하였다. 화원 직상부 천장 표면 온도는 천장과 같은 높이로 단열재 내에 매립된 열전대를 통해 계측되었으며, 설치를 위해 판 홈은 천장재질로 마감하였다. 화재공간의 대표 천장 가스 온도는 미분무헤드가 설치되는 천장 중앙부로부터 아래 수직 방향으로 75mm 떨어진 위치에 설치된 열전대를 통해 계측된다.

실험 후 가연물의 손상 비율(%)은 사진촬영에서 얻어진 가시화 결과를 수치적으로 처리하여 계산하였으며, 점화원(igniter)은 120mL를 묻힌 75mm(D)x75mm(H) 크기의 불연성 단열재를 사용하였다. 미분무소화설비 헤드에서의 분사압력 측정을 위해 압력계를 설치하였다.

3. 실험결과

Figure 1은 선실 상부 매트리스 화재시나리오에 대한 가연물 배치 및 점화 상태를 보여주고 있으며, Figure 2는 계측된 온도 값을 나타낸다. 점화원에서 베개로 전파된 화재로 인해 점화원 직상부 천장의 표면온도가 급격하게 상승하고 선실 중앙에 설치된 열전대에 의해 계측되는 천장 가스온도가 상승한다. 화재가 성장함에 따라 천장아래에는 천장 제트류가 생성되고 선실중앙에 설치된 미분무헤드의 열감지부로 열이 전달되면서 미분무헤드가 개방되어 오리피스에서 물이 분사된다. 가스온도를 측정하는 열전대 주변 온도는 미분무수의 낮은 온도와 공기의 낮은 비열 때문에 급격하게 하강하지만, 천장 표면온도는 천천히 하강함을 볼 수 있다. 시험 후 가연물의 손상률은 4.3%로 기준의 40%보다 매우 작은 값으로 소화설비의 작동으로 베개로 전파된 화재가 바로 소화된 것임을 알 수 있다.

선실 하부 매트리스 화재시나리오는 하단의 매트리스 위에 화원을 설치한 후 화재를 진압하는 실험으로 상부 매트리스가 분사되는 미분무수의 차폐하는 역할을 하여 화원근처로 미분무수가 효과적으로 도달할 수 없다.

Figure 3은 화재가 하부 베개에 전파된 상황을 보여주고 있으며, Figure 4는 하부 매트리스 실험에서 얻어진 시간에 따른 온도 및 헤드의 분사압력을 보여준다. 상부 매트리스 시나리오의 온도 결과와는 달리 화원이 바닥에 가까워 뜨거운 공기가 상승하면서 주변공기와 혼합되기 때문에 천장 표면

온도와 주위 공기온도가 느리게 상승하면서 열감지부의 작동에 긴 시간이 소요됨을 알 수 있다. 열감지부가 작동된 후의 선실 천장 중앙에 설치된 온도는 급격하게 하강하지만 천장의 표면온도는 계속적으로 상승하고 있음을 알 수 있는데, 이는 상부 매트리스의 차폐효과 때문에 하부 매트리스에서 화재가 계속적으로 성장함을 알 수 있다. 시간이 경과하면서 증발된 수증기와 분무 입자가 화재에 의해 형성된 유동을 따라 화원으로 유입되면서 화재가 제어되고 결국에는 소화됨을 알 수 있다.



Figure 5. 선실 상부 침대 가연물 배치 및 화원 점화

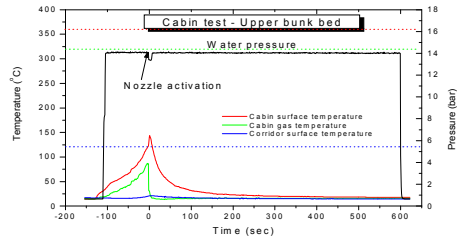


Figure 6. 상부침대 온도 및 노즐 압력 계측 결과



Figure 7. 가연물 연소

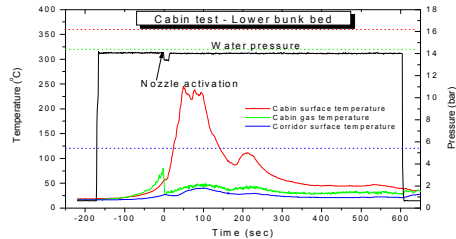


Figure 8. 하부침대 온도 및 노즐 압력 계측 결과

방화시나리오(arsenist)는 선실 내에 방화로 인한 미분무소화설비의 화재제어 성능을 확인하는 시나리오이다. 점화 30초 전에 주정 1ℓ를 베게와 하부 매트리스에 골고루 뿌려 점화하기 때문에 점화와 동시에 매우 큰 화원이 형성되며, 순식간에 하부 매트리스와 상부 매트리스로 화재가 확산된다. Figure 5는 방화 시나리오에 대해 얻어진 온도변화를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 점화와 동시에 미분무소화설비가 작동하지만 큰 화재로 인하여 선실 표면온도가 계속적으로 증가하고 최고 온도 500℃까지 도달한다. 그러나 선실 출입구 복도 천장온도가 64.1℃이하로 유지되는 것으로 보아 선실 내 미분무헤드가 화재가 복도로 전파되는 것을 효과적으로 제어하고 있음을 알 수 있다.

여객선의 수많은 선실은 복도와 바로 연결되어 있고 선실의 화재가 복도를 거쳐 다른 공간으로 전파된다. IMO에서는 선실 노즐이 작동되지 않을 경우 선실화재가 복도를 통해 다른 공간으로 전파되는 것을 차단하기 위해 선실 노즐 부작동 실험 시나리오를 제시하고 있으며, 복도에 설치된 노즐의 작동으로 화재 제어 유무를 확인하고 있다. 화재가 하부 매트리스에서 발생하였지만 선실의 노즐이 작동하지 않아 화재가 시간이 경과하면서 급격하게 성장함을 Figure 6의 선실 상부 온도로부터 확인된다. 높은 온도의 연기가 선실 출구를 지나 복도로 확산되는데 복도에 설치된 미분무소화설비가 작동을 하면서 복도의 천장 표면 온도가 일정이하 온도로 제어됨을 알 수 있다. IMO 기준에서는 복도의 소화설비가 작동 후 10분 동안 복도 천장표면의 최고 허용온도가 400℃인데, 실험에서는 204.6℃이하로 화재가 잘 제어됨을 확인할 수 있다.

Table 1은 선실에 대한 I화재실험 절차에 따라 수행한 후 얻은 결과를 정리한 것이다. 실험 결과 값 뒤의 ()안 값들은 기준에서 제시한 조건으로 실험에 사용된 미분무헤드의 화재진압 성능이 IMO 기준에 만족됨을 알 수 있다.

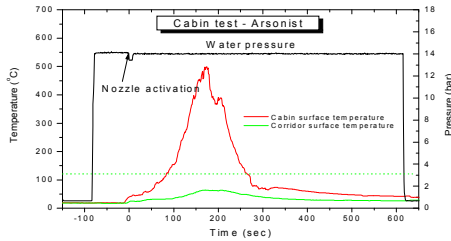


Figure 9. Arsonist test의 온도 및 헤드 압력

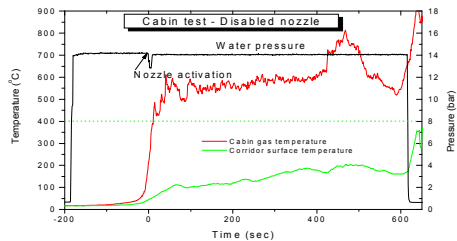


Figure 10. 노즐 부작동에 대한 온도 및 헤드 압력

Table 1 Test results for the cabin tests

		Maximum ceiling surface temperature in the cabin (°C)	Maximum ceiling gas temperature in the cabin (°C)	Maximum surface temperature in the corridor (°C)	Maximum acceptable damage on mattresses (%)		test result
					Lower bunk	Upper bunk	
Cabin tests	Lower bunk bed	144(360)	87(320)	21(120)	35.0(40)	0(10)	Complied
	Upper bunk bed	246(360)	81(320)	41(120)	N.A.	4.3(40)	Complied
	Arsonist	N.A.	N.A.	64.1(120)	N.A.	N.A.	Complied
Disabled nozzle		N.A.	N.A.	204.6(400)	N.A.(Not Available)		Complied

4. 결론

성능기반의 소화설비인 미분무소화설비는 설비의 설치에 앞서 적용 공간에 대한 화재진압성능 확인이 우선적으로 수행되어야 한다. 2011년 국가화재안전기준 NFSC 104A 제정으로 소화설비로 도입이 확정된 미분무소화설비에 대한 공간별 화재진압시험에 대한 기준마련이 절실히 요구된다. 본 논문은 IMO(국제 해사기구)의 거주구역 소화시스템 성능기준인 Resolution MSC.265(2008)에서 제시한 선실(cabin) 구역 화재시나리오에 따라 화재진압실험을 수행하였으며, 각각의 화재시나리오가 요구하는 온도 계측 및 가연물 잔량 분석을 통해 미분무소화설비의 소화성능을 확인하였다.

미분무소화설비가 활발하게 적용되고 있는 조선분야의 적용사례 소개를 통해 국내에 도입되기 시작한 미분무소화설비가 적용분야를 넓혀 가는데 도움이 되길 기대해 본다.

감사의 글

본 연구는 지경부의 지역산업 연구 개발 사업(경상남도)의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] [http://www.imo.org/HOME.html]
- [2] 한용식 외, “미분무수 소화시스템의 도로터널 적용을 위한 실물화재 실험”, 한국화재소방학회 논문지, 25권 3호, pp.51-56, 2011
- [3] 박지현, 김영한, “선박거주구역의 방호를 위한 폐쇄형 미분무노즐의 화재진압성능평가 연구”, 한국화재소방학회지, 26권 1호, pp.1-9, 2012
- [4] IMO RESOLUTION MSC.265(84)(adopted on 9 May 2008) AMENDMENTS TO THE REVISED GUIDELINES FOR APPROVAL OF SPRINKLER SYSTEMS EQUIVALENT TO THAT REFERRED TO IN SOLAS REGULATION II-2/12 (RESOLUTION A.800(19)), THE MARITIME SAFETY COMMITTEE, 2008.
- [5] Report on the investigation of the fire onboard Star Princess of Jamaica(23 March 2006), Marine Accident Investigation Branch(MAIB), October 2006, UK