

철도차량 미분무수 소화설비 성능 평가

박원희** · 음푸른별* · 윤경범** · 이덕희*

Performance Evaluation on Water-mist Extinguishing System of Railway Vehicles

Won-Hee Park** , Pu-Reun-Byul Eum* , Kyung-Beom Yoon** , Duck-Hee Lee*

Key Words : Railway vehicles(철도차량), Water-mist extinguisher(미분무수 소화장치)

ABSTRACT

The test system for the performance of the water-mist extinguishing system in the railway vehicle is equipped and the details of the system are introduced. The three scenarios using different fire sources and performance criteria for the water-mist systems on railway vehicles are also introduced. Three different type of the nozzle at same operating pressure are evaluated. Amount of water-mist distribution is measured by many baskets on the bottom of the test room. Temperature on the ceil and the tree of the test room is measured during the tests that are used for the judgement of the performance on the water-mist extinguishing system.

1. 서론

철도 차량 내의 화재는 밀폐된 공간에서 일어나므로 많은 유독성 가스를 포함하고 있으며 높은 화염 온도로 인해 많은 인명 피해를 야기 시킬 수 있다. 또한 화재에 대한 대비가 현재 미흡하며, 철도 차량에서 화재가 발생하였을 경우 위험성이 매우 심각하여 초대형 참사로 발전할 수 있다. 철도 차량 내 화재 사고에 대비하기 위한 여러 방법 중 워터미스트(water-mist)를 사용하는데 스프링클러에 비해 약 10% 이하의 물을 소모하기 때문에 휴대용 소화 설비가 가능하고 다량의 수원을 확보하기 어려운 공간에 주로 적용되고 있다. 워터미스트는 분무액적의 크기를 더욱 작게 생성하여 화원의 직접냉각효과와 함께 분무의 증발과정에서 발생하는 체적팽창을 통해 화원 부근의 산소를 차단함으로써 화재를 억제할 수 있다. 미분무수의 입자 크기가 매우 다양하고 이에 따른 화재 구획과의 연관성으로 인하여, 화재진압성능이 소화대상 뿐만 아니라 그 대상이 있는 공간의 조건과도 관련되기 때문이다.⁽¹⁾ 따라서 선박기관구역, 변압기실 및 지하구 미

분수 등 여러 방호공간에서의 소화 성능과 관련하여 화재 공간 및 화재 시나리오에 따라 실험 및 이론적 해석이 이루어졌다.⁽²⁻⁵⁾ 그러나 워터미스트 장치는 설치되는 공간이 임의적이기 때문에 화재를 얼마나 효율적으로 억제할 수 있는지에 대한 평가 및 기준이 모호하다. 성능 평가 기준 중 하나는 공간 내 온도 분포가 있으며 온도 측정의 정확성이 매우 중요하다.⁽⁶⁾

본 논문에서는 철도차량에 설치되는 화재진압장치인 미분무수 소화장치의 성능평가를 위해서 설계되어 운전되고 있는 철도차량 미분무수 소화설비 성능평가 설비를 소개하고 소화성능 평가 시나리오에 따른 시험결과를 검토하였다.

2. 철도차량 미분무수 소화설비 성능평가

2.1. 철도차량 소화설비 성능평가 설비

철도차량 소화설비 성능평가 설비는 철도차량에 설치되는 미분무 소화설비의 성능을 평가를 목적으로 설계된 설비로

* 한국철도기술연구원 (Korea Railroad Research Institute)

** 한국건설생활환경시험연구원 (Korea Conformity Laboratories)

† 교신저자(Corresponding Author), E-mail : whpark@krrri.re.kr

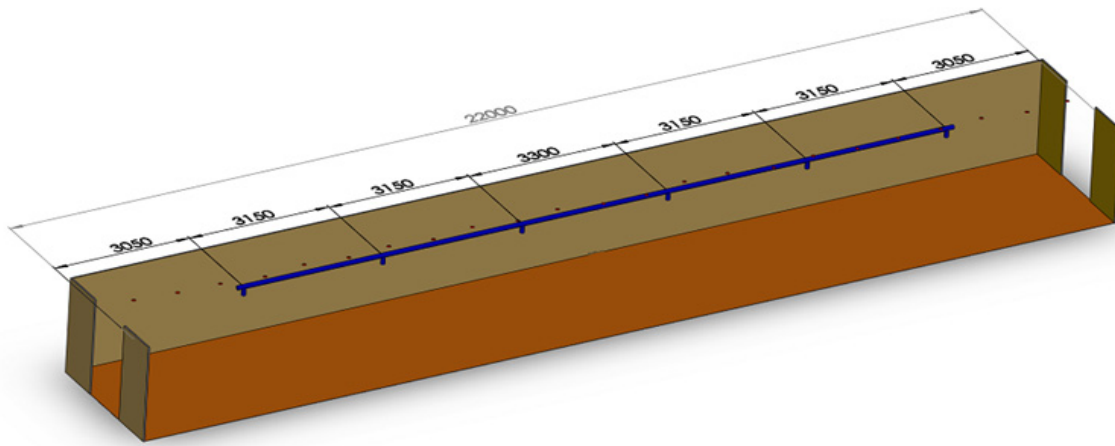


Fig.1 The schematic of experimental space.

철도차량 내부에 해당되는 Test Room과 온도 압력 등의 측정 시스템, 소화수 급수 및 배수처리 시설, 연기집진 및 배연 설비, 방재안전시설, 기타 제반 시설로 구성 된다. 철도차량과 같은 환경을 만들고 재현하기 위해서 강철 판재로 제작된 측벽 및 전후벽을 이동 가능하게 만들었는데 본 시험에서는 새마을호의 대표적인 차량길이인 22m, 폭 3m, 높이 2.3m을 설정하였다. 또한 실험 공간의 천정에는 화재시험으로 인한

벽체의 변형을 막기 위해 수냉 배관을 설치하였다. 실험 중 발생하는 연기의 배출을 위하여 양 끝단에 집진 설비를 장착하였다. Fig. 1과 같이 시험 천장 및 공간내부온도 측정을 위한 열전대 트리를 설치하였으며, 미분무수 소화시스템의 압력설정을 위하여 압력을 제어가 가능하도록 압력 측정 장치를 장착하였다.

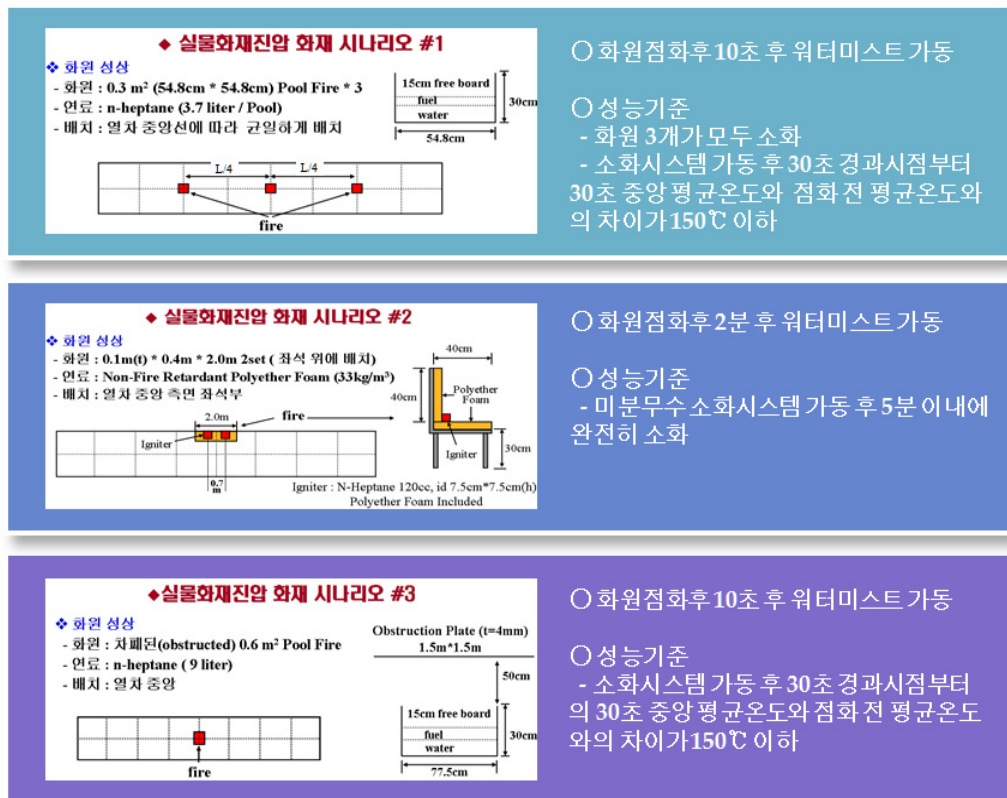


Fig. 2 Fire scenarios and nozzle performance criteria

2.2. 철도차량용 미분무수 소화시스템 성능평가 기준

철도차량용 미분무수 소화시스템의 성능평가를 위하여 Fig. 2와 같은 시나리오를 설정하였다. 성능평가는 시험 중 측정되는 온도 및 화원의 진압여부로 결정된다. 시나리오#1은 0.3 m²의 단면의 3개의 트레이를 열차 중앙선을 따라 균일하게 배치해 놓은 상태이며 여러 위치에서 다발적으로 유류화재가 발생한 경우를 모사한 것이다. 시나리오#2는 의자로 대표되는 고체가연물의 화재를 가상한 것이며 시나리오#3은 차량 내 화재가 워터미스트로 꺼지지 않도록 화원 위에 차폐막을 설치하고 차량 내부 공간의 온도제어를 평가하기 위하여 도입된 화재 상황 모사이다. 노즐의 성능 기준은 Fig. 2의 오른쪽에 나타낸 것과 같이 시나리오#1인 경우 화원 3개가 모두 소화되거나, 소화시스템 가동 후 30초 경과시점부터 30초 중앙 평균 온도와 점화전 평균온도와의 차이가 모든 전장 온도 측정 지점에서 150 °C 이하로 유지되어야 한다. 시나리오#2인 경우 소화시스템 가동 후 5분 이내 완전히 소화되어야 하며 시나리오#3의 경우 소화시스템 가동 후 30초 경과시점부터 30초 중앙 평균온도와 점화전 평균온도와의 차이가 모든 측정 지점에서 150 °C 이하로 유지되어야 한다.



(a) Nozzle A



(b) Nozzle B



(c) Nozzle C

Fig. 3 Images of nozzles

3. 미분무수 노즐 실험

3.1. 성능평가 노즐

본 연구에서는 3가지의 서로 다른 노즐을 선정하여 철도차량 미분무수 소화장치 성능을 만족 여부에 대한 시험을 수행하였다. Fig. 1에서 천정에 굵은 선은 노즐을 연결한 배관이며 노즐과 노즐 사이의 간격은 3.15~3.5 m이다. 미분무수 노즐은 모양 및 홀의 위치에 따라 A, B, C로 구분을 하였으며 Fig. 3에 나타난 사진이 실험에 사용된 노즐의 모습이다. Fig. 4는 노즐 C의 미세 물분무 모습을 찍은 사진이다. 모든 노즐의 작동 압력은 70bar이다.



Fig. 4 Water-mist spray of nozzle C

3.2. 온도 및 노즐 유량 분포 측정

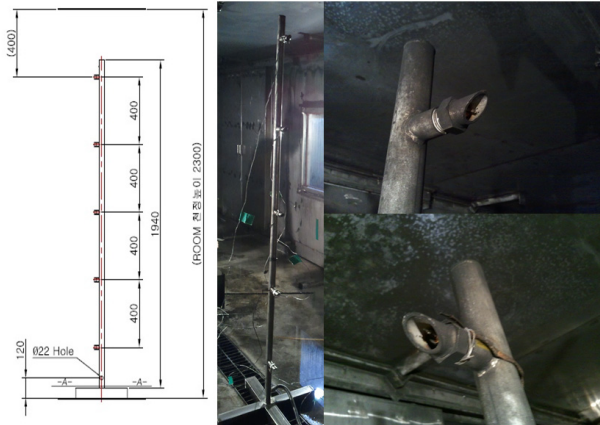
Fig. 1에서 작은 점들은 천장에 설치된 열전대의 위치를 표시한 것이다. 모두 24개의 열전대가 설치(천정에서의 위치 2cm)되어 있으며 노즐에서 분사된 액적으로 인하여 온도 측정의 정확도가 낮아지지 않도록 Fig. 5(a)와 같이 파이프 내부에 치부하였다. 또한 세 개의 열전대 트리를 제작하여 공간 내부의 온도를 측정할 수 있도록 하였는데 노즐에서 분사되는 액적으로 온도 측정에 교란이 일어나지 않도록 하기 위해 파이프를 이용하였으며 또한 Fig. 5(b)에는 열전대 트리의 설계도도 같이 나타내었다. 그리고 위치는 하부 중앙을

기준으로 각각 2.75, 8.25, 13.75m이다.

미분무수 노즐의 유량 분포를 측정하기 위해 차량 바닥에 100개의 비이커를 실험 공간 바닥에 배치하였으며 Fig. 6와



(a) Thermocouple on the ceiling



(b) Thermocouples in tree

Fig. 5 The pictures of thermocouples.

같다. 배치된 비이커는 노즐 중앙에서 수직으로 2.05 m 떨어진 위치에 설치되었고 채집구의 직경은 19 cm이다. 일반적으로 분무 수집 과정에서 발생하는 오차는 채집 시간 후 채집 장치 벽면에 남아있는 물의 양에 의해 결정되는데 이는 충분한 채집 시간을 통하여 채집된 물의 양을 크게 함으로써 측정된 양에 대한 오차의 영향을 줄일 수 있기 때문에 전체 채집된 물량에 대한 측정 정확도를 증가시킬 수 있다. 본 연구에서 분무 채집 시간은 5 분이며 이는 미분무수 소화시스템의 화재 진압 성능평가 시나리오보다 충분히 긴 시간이다. Fig. 7은 노즐 C에 대하여 5 분간 채집한 유량분포 결과이다. 미분무수 노즐이 붙어있는 폭 1.5m, 길이방향으로 0m 및 4m인 지점에서 유량이 높게 나타났으며 벽면에 가까운 위치에서 공간의 중심보다 더 많은 유량분포를 보이고 있다.

3.3. 온도 및 노즐 유량 분포 측정

각 노즐에 대하여 Fig. 2에서 언급한 시나리오별 시험을 진행하였으며, 실험 진행시 온도를 실시간으로 측정하여 기록하였다. 시나리오 #1의 경우에 3개의 떨어진 곳에 위치한 화원을 점화시키고 화원점화후 10초후에 미세물분무 설비를



Fig. 6 Arrangement of patternators.

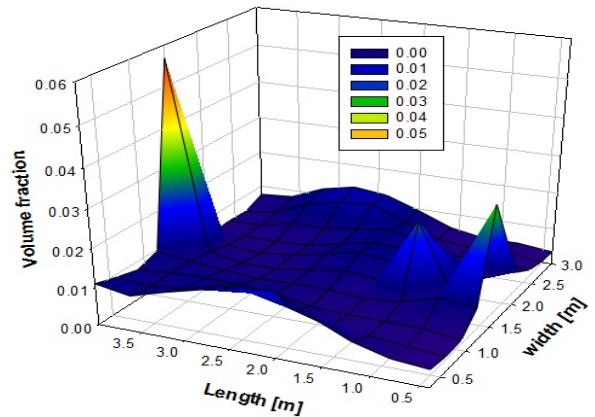


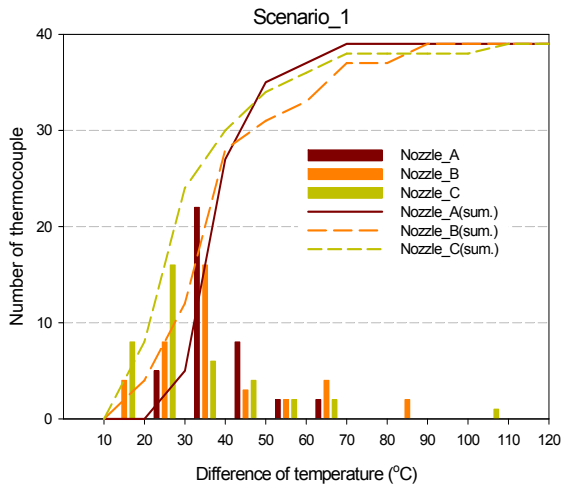
Fig. 7 Arrangement of patternators.

Table 1 The results of nozzle performance about nozzle A and scenario #1.

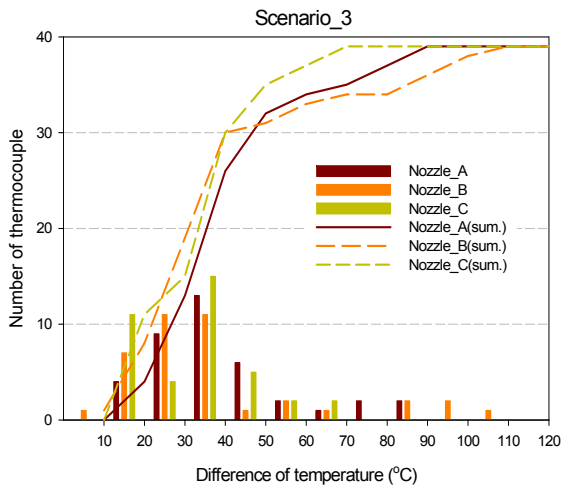
열전대 No.	T1(°C)	T2(°C)	T2-T1 (°C)	Pass/Fail
TC-02	12.4	32.62	20.22	Pass
TC-03	13.6	38.10	24.50	Pass
TC-04	13.3	40.55	27.25	Pass
TC-05	14.1	43.34	29.24	Pass
TC-06	12.9	47.28	34.38	Pass
TC-07	17.3	54.08	36.78	Pass
TC-08	15.4	51.09	35.69	Pass
TC-09	12.7	53.98	41.28	Pass
TC-10	13.1	54.95	41.85	Pass
TC-11	15.7	65.60	49.90	Pass
TC-12	15.2	46.16	30.96	Pass
TC-13	14	74.63	60.63	Pass
TC-14	15.4	51.09	35.69	Pass
TC-15	12.7	53.98	41.28	Pass
TC-16	13.1	54.95	41.85	Pass
TC-17	15.7	65.60	49.90	Pass
TC-18	15.2	46.16	30.96	Pass
TC-19	14	74.63	60.63	Pass
TC-20	14.6	66.65	52.05	Pass
TC-21	11.4	49.99	38.59	Pass
TC-22	11.3	48.89	37.59	Pass
TC-23	14.6	48.65	34.05	Pass
TC-24	14.8	48.30	33.50	Pass
TC-25	13.2	40.60	27.40	Pass

* T1 : 점화전 평균 온도

* T2 : 소화시스템 가동후 30초 경과시점부터 30초 중앙 평균온도 중 최대 온도



(a) Scenario 1



(b) Scenario 2

Fig. 9 Number of thermocouples for difference of temperature.



Fig. 8 Ignition of fire source about scenario #1.

작동시켰다. 시나리오 #2에 경우에는 의자를 모사한 고체연료를 점화시킨 후 2분후 미세물분무를 가동시켰다. 시나리오 3의 경우에는 시나리오 #1에 비하여 크기가 큰 화원인데 화

원 위에 철판으로 차폐시켜 물분무가 직접적으로 화원에 침투하지 않도록 한 경우로 화원점화후 10초후 물분무 시스템을 작동시켰다. Fig. 8은 워터미스트의 작동 전 화재 시나리오#1의 경우를 대표하여 화원에 점화를 한 후의 모습을 나타낸 사진이다. 점화 후 발생하는 연기가 시험 공간의 천정에 가득 차게 되면서 천정 면을 따라 양 옆으로 퍼져 나가게 된다. 출입문이 있는 벽면에 닿으면 벽을 따라 하강하게 되고 이후 바닥 면에 닿으면서 시험 공간 전체에 연기가 퍼지는 모습을 관찰할 수 있었다. 3개의 노즐에 대하여 각각 시나리오 3개씩 모두 9개의 시험을 수행하였다. 그 결과 중 노즐 A의 화재 시나리오#1에 대한 결과를 Table 1에 나타내었다. 또한 성능 기준(Fig. 2)을 만족하는 지의 여부를 판단하기 위해 천정에서의 온도 측정 지점에 대해 점화전 평균온도(T1)와 소화시스템 가동 후 30초 경과시점부터 30초 중앙평균온도 중 최대온도(T2)를 구하였으며 온도차가 모두 150°C 미만인 되는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 방법으로 화재 시나리오#1에 대한 노즐 A, B, C를 평가하였을 때 모두 성능 기준에 합격하였다. 화재 시나리오#3의 경우 노즐을 평가할 때에는 열전대 트리에서 측정된 온도를 포함하여 평가하였으며 Table 1과 같은 방식으로 온도를 구하고 온도차를 구하였을 때 모두 성능 기준에 합격함을 알 수 있었다. 본 논문에서는 다른 노즐에 대한 측정 결과를 생략하였다. 또한 화재 시나리오#2에 대해서 모든 노즐이 작동 후 모두 5분 이내에 완전히 소화되었기 때문에 역시 성능 기준을 만족하였다. Fig. 9는 Table 1에서 T2-T1의 열전대 분포 개수를 온도차 별로 그리고 화재 상황 별로 나타낸 그림이다. 모든 온도 차이가 성능 기준을 만족하고 있으며 온도 차이가 100°C 미만인 것이 거의 대부분이며 누적 개수를 비교하였을 때, 온도차가 적은 곳이 많은 경우는 화재 시나리오#1, 3 모두 노즐 C인 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 화재 시나리오#1, 3에 대해 노즐 C가 화재 발생 시 철도 차량 내의 온도 제어에 있어서 가장 좋은 성능을 나타낸다고 판단할 수 있다.

4. 결론

철도 차량 내 화재 발생 시 미분무수 소화설비의 성능을 평가하기 위한 실험을 수행하였으며 온도측정 및 화원의 소화여부를 판단하여 노즐의 성능을 평가하였다. 철도차량에 설치되는 미분무 소화장치를 평가하기 위한 화원은 3가지로 고려하였으며 각각의 시나리오에 대한 성능평가 기준을 이용하여 작동압력이 70 bar로 동일한 3가지의 서로 다른 노즐의 성능평가를 수행하였다. 화재 시나리오#2의 경우에는 모든 노즐이 화재 발생 후 5분 이내에 완전히 소화되었기 때문에 노즐 모두가 성능 기준에 합격한다고 할 수 있었다. 그리고 화재 시나리오#1, 3에 대한 노즐 평가는 온도차가 모든 열전대에서 150 °C 이내였으며 모두 성능 평가 기준에서 합

격하였다. 특히, 노즐 C는 노즐 A, B에 비하여 온도차가 작은 부분이 더 많이 존재하므로 더 좋은 성능을 가지고 있다고 판단된다.

후 기

본 논문은 국토부와 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행중인 “철도터널 화재감지기 기준 및 지하역사 안전구역 구축기술 개발” 과제의 지원으로 발간되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

(1) 김명배, 2000, “미분무수 소화설비의 기술동향 및 NFPA 750의 소개,” 한국화재소방학회논문지, Vol. 1, No. 2, pp.

- 2~5.
- (2) 최병일, 한용식, 오창보, 김명배, 김창, 2007, “선박기관구역 미분무수 소화설비 화재 진압 성능평가,” 한국화재소방학회 논문지, Vol. 21, No. 2, pp. 111~117.
- (3) 한용식, 최병일, 김명배, 2005, “변압기실 화재에 대한 미분무수 시스템의 적용-소화 특성을 중심으로(part 1),” 한국화재소방학회 논문지, Vol. 19, No. 4, pp. 32~36.
- (4) 김운형, 김종훈, 박승민, 김태수, 민인홍, 전동일, 김상욱, “지하구 미분무수 소화설비 적용에 관한 연구,” 한국화재소방학회 논문지, Vol. 16, No. 1, pp. 66~76
- (5) 최병일, 한용식, 도규형, 김명배, 이동찬, 2009, “미분무 소화시스템을 이용한 철도차량 실물화재 진압실험,” 한국화재소방학회논문지, Vol. 23, No. 6, pp. 57~65.
- (6) 김성찬, 2010, “열전대에 의한 화재유동의 온도 측정에 관한 검토-측정오차,” 한국화재소방학회논문지, Vol. 24, No. 6, pp. 98~103.