

터널 물분무소화설비의 살수밀도분포에 대한 실험연구

소수현¹, 박경환²

Experimental study on the spray density distribution of water spray system in road tunnel

Soo-hyun So, Kyung-hwan Park

Abstract Spray density of the water spray system which is installed in long road tunnels and hazardous vehicle tunnels is applied without proper performance assessment process. In this study, the requirements of Spray Density Guidelines at the standard pressure is investigated through spray test set up the nozzle of a water spray system in a simulated road tunnel. The results showed that all the nozzles used in the test area did not meet the requirements of the Guidelines. The absence of performance test codes and inspection process on the nozzle at real scale in tunnels may have caused this practice. Therefore, it is suggested that the performance test regulations of the nozzle on the water spray system is established in order to properly assess the system performance.

Keywords: Tunnel fire, water spray head, spray density, spray distribution

요 지 장대 도로터널 및 위험도가 높은 도로터널에 설치되고 있는 물분무소화설비는 성능과 관계된 단위면적당 방수밀도에 대한 검증과정이 없이 사용되어 왔다. 본 연구는 도로터널에 물분무소화설비에 노즐을 설치하여 기준압력에서 방수시험을 실시하여 기준을 만족하는지 여부를 확인하였다. 결론적으로 모든 노즐이 기준을 만족하지 못하였다. 이런 결과는 도로터널용 물분무노즐을 검증하는 시험기준이 없고, 실제 시험을 통한 검증 과정이 존재하지 않았기 때문이라고 판단된다. 따라서 물분무노즐의 성능을 시험할 수 있는 기준의 마련과 설치된 시설을 검증하는 제도적인 보완이 필요하다.

주요어: 터널화재, 물분무 헤드, 방수밀도, 방수분포

1. 서 론

터널 내에서 화재가 발생할 때 인명안전, 구조물 붕괴 방지와 전기, 환기, 계측장비 등 시설물 피해와 소방대원의 피해를 최소화하기 위해 설치하는 수계소화설비에는 스프링클러설비(sprinkler), 물분무설비(water spary), 미분무설비(water mist) 등이 있다. 이들 설비들은 화재가 발생한 구역에 물을 분사해서 온도를 낮추거나 수증기 생성에 의한 질식효과로 화재의 성장을 제어하게 된다(박경환외 2005).

국내 도로터널에 적용하고 있는 물분무설비의 설치 기준은 국토해양부의 ‘도로터널 방재시설 설치기준(2004. 12)’에서 제정되었다. 또한 소방시설설치 및 유지관리에 관한법시행령 및 개정된 도로터널 방재시설 설치기준에

서 설치를 의무화하였다(국토해양부, 2009)(소방방재청 2009). 이러한 기준 변화를 거치면서 현재 물분무설비는 죽령터널, 가지산터널에 설치되어 운영되고 있다. 반면 일본의 경우에는 10여년의 연구 및 실험을 통하여 1968년 12월에 코보도케 터널, 1969년 니혼자카 터널 및 츠부라야 터널을 시작으로 물분무 설비를 세계 최초로 설치하여 현재 약 100여개의 터널에 설치되어 있는 것으로 알려져 있다(한국소방산업기술원 2008)(RWS 2001).

그러나 도로터널용 물분무설비에 대한 도로터널방재 시설설치기준 및 관리지침에서 정하고 있는 살수밀도의 조건이 국내 터널 환경에 만족하는지에 대한 연구 및 현장 검증은 매우 미흡하다. 또한 석유화학공장 등에 사용되고 있는 물분무소화설비의 노즐에 대한 기술기준으로 도로터널용 물분무노즐에 대한 인증을 하고 있어, 바닥면에 대한 방수분포 시험은 실시되지 않고 있다(소방방재청 2009).

본 시험은 2차선 표준도로터널 시험세트와 2차선 표준

¹비회원, 한국소방산업기술원

²정회원, (주)영설계엔지니어링

*교신저자: 박경환 (E-mail: kwfree21@hanmail.net)

단면 터널에서 국내에서 생산되고 있는 도로터널용 물분무노즐의 방수밀도 분포를 확인하기 위해 실시되었다.

2. 시험개요

2.1 2차선 도로터널 모형실험

본 실험에서는 죽령터널에 시공된 설비를 모사한 모형세트에서 실시하였다. 모형세트는 2차선 단면으로 (길이) 5 m × (폭) 9 m 벽에 내화재를 부착하고, 물분무노즐 1개를 설치하였다. 물분무노즐은 펌프에 연결되어 압력조정이 가능하도록 구성하였으며, 벽에서 1.5 m, 바닥에서 6.7 m 높이에 설치되었다. 실험 조건은 물분무헤드의 성능시험기술기준을 참고하여 표준방수압력인 0.35 MPa과 0.5 MPa로 결정하였다. 방수량 측정은 바닥면적 (가로) 9 m × (세로) 5 m에 9개의 물통(단면 0.3 × 0.3 m)을 배치하여 그 물통 내에 들어오는 방수량을 측정하였다(그림1).

2.2 2차선 도로터널 실물실험

본 터널실물실험은 일반 도로터널을 모사한 폭 11.5 m, 높이 7.5 m, 길이 40 m인 한국건설기술연구원 보유의 터널 실물화재실험장에서 이루어졌다.

실험에 사용된 물분무노즐은 국내에서 개발된 3종류(A,B,C)의 물분무노즐에 대해 25개의 물통을 사용하여 계측하였다(그림2). 사용된 물분무노즐은 각각의 종류

별로 그림2와 같이 5 m 간격으로 5개씩 설치되었고, 물통 사이의 간격은 전후, 좌우로 1.5 m씩 배치되었다.

3. 측정결과

3.1 2차선 도로터널 모형실험 결과

표 1은 노즐의 방수압이 0.35 MPa에서 241초 동안 방수된 밀도를 보여준다. 평균방수밀도는 4.16 lpm/m²·min으로 도로터널방재시설설치지침의 6.0 lpm/m²·min에 미달되는 것을 볼 수 있다. 좌우 방수밀도는 거리에 따라 조금씩 변화였고, 최대 2.5(5.6/2.5)로 불균일하게 나타났다. 거리에 따른 방수밀도도 최대 2.2(5.6/2.4)로

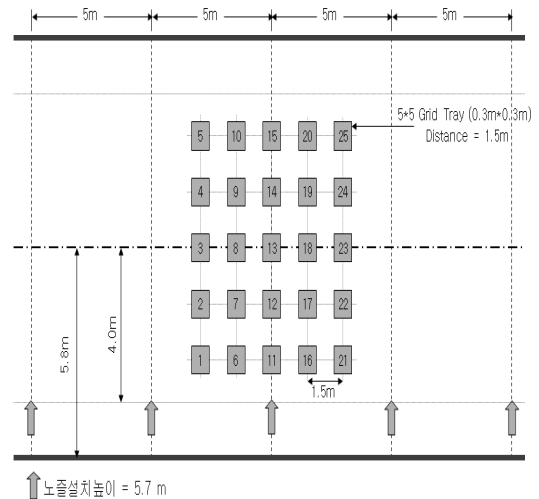


그림 2. 노즐 설치 위치 및 분사 밀도 측정 위치

표 1. 노즐의 방수밀도(0.35 MPa, 241초)

위치	방수량(Liter)	방수밀도(L/min·m ²)
1	2.02	5.59
2	1.60	4.43
3	0.86	2.38
4	1.78	4.92
5	1.56	4.32
6	1.04	2.88
7	0.92	2.54
8	2.34	6.47
9	1.40	3.87

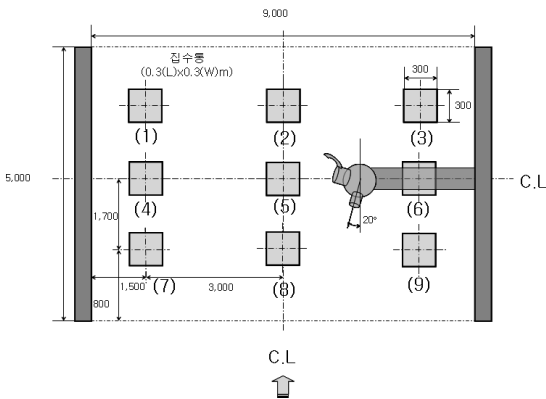


그림 1. 방수량 측정을 위한 집수통 배치도

표 2. 노즐의 방수밀도(0.5 MPa, 241초)

위치	방수량(Liter)	방수밀도(L/min·m ²)
1	2.29	6.31
2	1.61	4.44
3	1.20	3.31
4	2.16	5.95
5	1.72	4.74
6	1.45	3.99
7	0.40	1.10
8	2.91	8.02
9	1.87	5.15

불균형하였다.

이 시험은 노즐 1개를 대상으로 방수밀도를 측정하였기 때문에 여러 개의 노즐이 상호 방수구역이 겹치는 결과와는 다를 수 있다. 그럼에도 불구하고 노즐의 전후, 좌우의 방수밀도가 상당히 불균일하다는 것은 분명하다.

0.5 MPa에서 측정한 결과인 표 2를 보면, 전체적인 평균방수밀도는 4.8 lpm/m²·min으로 높아졌다. 하지만 좌우 방수밀도의 비대칭성이 5.7(6.3/1.1)로 증가하였고, 전후 방수밀도 분포도 4.6(5.1/1.1)로 증가하였다. 결과적으로 0.35 MPa에 비해 0.5 MPa에서 측정한 방수밀도 분포의 불균일성이 증가하였음을 알 수 있다.

3.2 2차선 도로터널 식물실험 결과

표3, 표4 및 표5는 3종류의 도로터널용 물분무 노즐에 대한 터널식물실험 방수밀도 분포의 결과를 수치로, 그림 3, 4, 5는 노즐 전면에 설치된 물통의 방수밀도분포를 그래프로 보여준다.

A노즐의 경우, 0.4 MPa에서의 평균방수밀도가 5.7 lpm/m²·min으로 기준밀도 6.0 lpm/m²·min 보다 약간 작은 값을 나타냈다. 방수분포를 보면, 노즐에 가까운 1열(1, 6,11,16,21)의 방수밀도가 가장 낮고 중간부분인 3열(3,8,13,18,23)이 높게 나타났다. 가운데 물통을 중심으로 좌우측의 밀도값을 보면, 대체로 균일하였다. 최대밀도와 최소밀도 사이의 밀도비는 4.2(8.8/2.1)였다. 그림3의 노즐의 횡축으로 배치된 1~5열의 방수분포를 보면,

표 3. 노즐A의 살수밀도(0.4 MPa)

	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도
5열	5	8.3	10	4.1	15	6.3	20	8.8	25	4.6
4열	4	6.0	9	6.4	14	8.1	19	6.4	24	7.6
3열	3	5.3	8	2.1	13	6.3	18	4.8	23	7.9
2열	2	5.3	7	7.4	12	6.0	17	4.8	22	6.8
1열	1	4.0	6	4.6	11	4.3	16	3.3	21	3.3

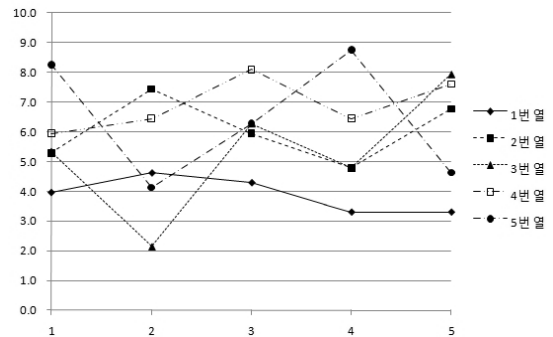


그림 3. 노즐A의 살수밀도(1열(1,6,11,16,21) 2열(2,7,12,17,22) 3열(3,8,13,18,23) 4열(4,9,14,19,24) 5열(5,10,15,20,25))

표 4. 노즐B의 살수밀도(0.24 MPa)

	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도
5열	5	7.5	10	4.9	15	3.8	20	8.9	25	4.8
4열	4	8.7	9	5.7	14	5.4	19	7.9	24	5.9
3열	3	7.0	8	7.5	13	6.1	18	5.9	23	6.9
2열	2	4.8	7	5.7	12	5.7	17	4.4	22	4.8
1열	1	4.8	6	7.0	11	3.4	16	3.6	21	4.3

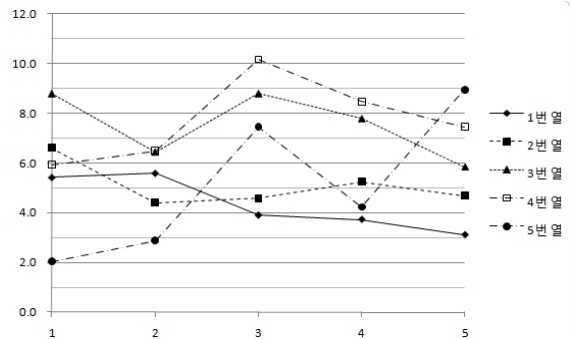


그림 4. 노즐B의 살수밀도(1열(1,6,11,16,21) 2열(2,7,12,17,22) 3열(3,8,13,18,23) 4열(4,9,14,19,24) 5열(5,10,15,20,25))

표 5. 노즐C의 살수밀도(0.38 MPa)

열	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도	물통 번호	방수 밀도
5열	5	2.0	10	2.9	15	7.5	20	4.2	25	9.0
4열	4	5.9	9	6.5	14	10.2	19	8.5	24	7.5
3열	3	8.8	8	6.4	13	8.8	18	7.8	23	5.8
2열	2	6.6	7	4.4	12	4.6	17	5.3	22	4.7
1열	1	5.4	6	5.6	11	3.9	16	3.7	21	3.1

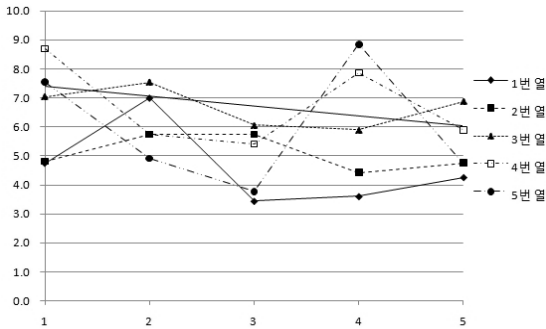


그림 5. 노즐C의 살수밀도(1열(1,6,11,16,21) 2열(2,7,12,17,22), 3열(3,8,13,18,23) 4열(4,9,14,19,24) 5열(5,10,15,20,25))

1번열의 방수밀도가 가장 낮, 2번열과 4번열의 방수밀도가 고른 것을 알 수 있다.

B노즐의 경우, 표4와 같이 평균방수밀도는 A노즐 시험보다 낮은 0.24 MPa의 압력에서 5.8 lpm/m²·min으로 나타났다. 시험압력이 0.35 MPa인 경우 평균방수밀도는 6.0 lpm/m²·min에 도달할 것으로 예상된다. 방수밀도 분포를 보면, A 노즐에서와 같은 경향으로, 노즐에서 가까운 부분인 1열의 방수밀도(1,6,11,16,21)가 가장 낮고, 중간부분인 3열(3,8,13,18,23)이 높게 나타났다. 반면 가운데 물통을 중심으로 좌우측의 밀도분포는 상당히 불균일하였다. 1번열과 5번열의 방수밀도 분포가 매우 불규칙한 반면, 2번열~4번열의 분포가 규칙적임을 알 수 있다. A 노즐에 비해 노즐 중심축에서 밀도가 낮다. 최대밀도와 최소밀도 사이의 밀도비는 2.6(8.9/3.4)으로 나타났다.

C노즐의 경우 평균방수밀도는 0.38 MPa에서 6.0 lpm/m²·min으로 방수량이 가장 많았다. 방수밀도의 분포를

보면, 좌우 밀도가 균일하였고, 중간부분인 3열(3, 8, 13, 18, 23)을 중심으로 전후의 밀도도 균일하였다. 최대밀도와 최소밀도 사이의 밀도비는 4.4(8.8/2.0)로 측정되었다.

결과적으로 A,B, C노즐 모두 최대밀도와 최소밀도 사이의 불균일이 나타났고, 특히 노즐에서 가장 근거리의 방수밀도가 가장 작은 값을 나타내었다.

4. 결 론

2차선 도로터널 모형세트에서 실시한 1개의 물분무노즐의 방수밀도시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 방수밀도는 전후, 좌우가 매우 불균일하게 나타났다. 최고밀도와 최소밀도의 밀도비는 0.35 MPa에서 2.7배, 0.5 MPa에서 7.3배로 나타났다. 이것은 물분무노즐의 물의 분사 정도가 매우 불균일함을 보여준다.
- 1개의 노즐을 설치한 경우, 도로터널의 화재안전기준 및 도로터널방재시설설치 및 유지관리지침에서 정하고 있는 기준밀도인 6 lpm/m²·min에 비해 상당히 낮은 4.16 lpm/m²·min(0.35 MPa), 4.8 lpm/m²·min (0.5 MPa)으로 매우 작음을 알 수 있다.

2차선 도로터널 실험터널에서 실시한 5개의 물분무노즐의 방수밀도시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 3종류의 노즐에서 측정된 평균방수밀도는 5.6, 5.8 및 5.9 lpm/m²·min으로 기준밀도인 6.0 lpm/m²·min에 근접하였다.
- 방수분포를 보면, A 노즐은 가운데 열에 있는 물통을 중심으로 좌우 밀도비가 작고, 앞뒤 밀도비가 크게 나타났다. B 노즐은 좌우가 균일하였으며, C 노즐은 좌우, 전후 모두 균일한 분포를 보여주었다.
- 노즐에서 가까운 바닥에 비해 중간의 물통에서 일반적으로 높은 방수밀도를 보여주고 있다.

이런 결과를 바탕으로 다음과 같은 점들이 제도적 측

면과 성능적 측면에서 보완이 이루어져야 한다.

- 실제 물분무노즐의 기준압력(0.35 Mpa)에서 방수량, 방수밀도를 측정하여 제품을 인정하는 기준이 마련되어야 한다.
- 방수밀도 측정 시험에서 최대밀도와 최소밀도 사이의 비율에 대한 기준을 제정함으로써 불균일 방수로 인한 문제를 해결해야 한다.
- 물분무노즐의 성능시험 기술기준(소방방재청, 2009)과 다른 도로터널 물분무노즐의 성능시험 기술기준(가칭)을 재개정을 고려해야 한다.
- 물분무노즐을 설치한 도로터널의 경우, 방수시험을 통한 방수밀도분포에 대한 검증작업이 수행되어야 한다.

결과적으로 법률적 요구사항인 $6.0 \text{ lpm/m}^2\text{-min}$ 보다

낮은 방수밀도와 불균일한 분포를 보여주는 것은 최소 성능에 미달할 수 있는 가능성이 있음을 암시하는 것으로 시급히 제도적 보완과 더불어 노즐성능 개선이 필요하다고 하겠다.

참고문헌

1. 박경환, 윤명오, 박형주(2005), 춘계화재소방학회 학술대회논문집.
2. 국토해양부(2009), 도로터널방재시설설치 및 관리지침.
3. 한국소방산업기술원(2008), 터널내자동식 화재진압장치의 적용성 평가 및 설치기준에 관한 연구.
4. RWS(2001), Sprinklersin Japanese Tunnels.
5. 소방방재청(2009), 물분무헤드의 성능시험 기술기준.

접수일(2010.7.12), 수정일(2010.8.30), 게재확정일(2010.12.30)