B-12

다차선 터널 소화시스템에 관한 연구

김엽래*, 이동명*, 손국현**
경민대학 소방과학과*, 지멘스코리아**

A Study on the Fire Extinguishing System in Multi-Lanes Tunnel

Yeob-Rae Kim*, Dong-Myung Lee*, Kook-Hyun Son**
Kyungmin College, Dept. of Fire Protection Science*
Siemens Building Technologies Ltd., Fire Safety Unit Head**

1. 서 론

도로의 여건에 맞는 터널의 형상 또한 다양하게 변화되고 있다. 국내에서도 고속도로 터널, 지하철 터널, 고속철도 터널, 지하공동구 등 다양하게 터널의 형상이 증가하고 있다.

터널의 소화설비에 대하여 국내에서는 소방법이 제대로 이루어지지 않고 있어 대구 지하철 방화에서 드러났듯이 화재에 대한 대처가 미흡하여 대형 인명피해와 재산피해를 야기하고 있는 실정이다.

도로터널에 관한 최근의 위험성 분석자료에 의하면 차량에 화재가 일어날 확률이 높다는 것을 알 수 있다.(표 1) 평균적으로 한대의 차량이 일반도로를 운행할 때 5천만 Km 마다 화재가 일어난다는 분석이다. 터널내에서 트럭의 경우는 그 확률이 일반도로에서보다 훨씬 높음을 알 수 있다. 연구결과 도로 터널을 통과하는 트럭의 비율이 5~10%를 넘을 때 사고의 위험은 증가세를 보여준다.

(표 1)은 터널의 길이가 약17Km에 달하는 현재 세계에서 두 번째로 긴 스위스의 고타르터널에서 측정한 결과를 사례로 보여주고 있다.

(표 1) 터널내 차량에서 화재가 일어날 확률

구 분	사고 확률(화재/km)
중앙 유럽의 일반도로	2×10^{8}
고타르터널을 통과하는 모든 차량	4×10^{8}
고타르터널을 통과하는 트럭	6×10^{8}

연간 약650만대의 차량이 통과하며, 이 중 트럭의 비율이 15%이다. 2001년 대화재가 일어나기 전까지 연간 4건의 화재사고를 포함하여 약55건의 사고가 고타르터널에서 일어났다.

최근 몇년간 일어난 일련의 터널 화재사고는 화재가 일어난 위험지역에서 민간인

과 소방관의 안전을 보장하고, 터널의 구조에 심각한 파손을 방지하기 위한 포괄적인 기술적 구조적인 대응책의 강구가 필요함을 보여주었다. 이런 대책은 터널로 접근하는 지역뿐만 아니라 터널의 운영자에게도 터널 시설의 마비로 인하여 심대한 경제적인 손실을 초래하기 때문에 그 중요성이 크다.

본 연구에서는 최근 국내 터널의 증가 추세에 맞추어 차선에 의한 방호범위를 결정하고, 2차선과 4차선의 터널내 소화시스템에 대하여 비교 검토함으로서 터널내 화재예방에 기여하고자 한다.

2. 터널내 화재 형태

위험성 분석에 의하면 터널내 차량(승용차, 트럭 및 버스)화재로 확산되면 터널내 단열에 의하여 잠재적인 위험 요소는 매우 크다. 화재의 전개과정 분석에 따르면,

- 승용차는 10분만에 전소
- 트럭은 20~30분에 전소
- 엔진화재의 경우, 차량 내부까지 확산되기까지 약 5분
- 차량내부의 화재의 경우, 유독성 가스는 발생물질이 있으면 3분내에 가득참
- 연료가 누설되어 고인 곳에 화재가 나면 30~60초만에 전소

터널내에서의 차량화재는 대단히 큰 열량을 발생시켜 인접 차량에 Flash-over를 일으킬 수 있으며, 통제 불능의 화재로 발달하여 큰 인명과 재산의 손상을 가져다준다. 치명적인 유독성가스, 발열, 열악해진 시계와 패닉현상의 사람들과 어우러진 부적절한 탈출 및 피난 시설들은 인명 손상에 결정적인 영향을 미치는 민감한 요소들이다.

대부분 화염의 빠른 발달로 인하여 소화활동을 위해 발화지점에 접근하는 것을 불가능하게 한다. 이는 광범위하게 퍼진 열기와 연소가스 및 나빠진 시계 때문이며, 더욱이 터널내 구조부에 큰 손상을 입힌다. 대표적인 터널화재로 알프스를 통과하는 몽블랑터널과 고타르터널의 사고에서 명확하게 보여주었고, 몇 달에 달하는 보수기간동안 폐쇄해야 했다.

인명보호를 위해서는 터널내 발화 지점과 다량의 유독성 가스나 고온의 연소가스를 신속하게 감소시켜야 한다. 이를 위해 화재구간이 냉각되어야 하고 분무입자가 Smoke Drop Down시켜 유독성 가스를 노면으로 흘러가게 하여야 하는데 이를 위해서 최적화된 물분무 소화시스템이 터널내에 도입되어야 한다.

3. 터널내 물분무 소화시스템

물분무 소화시스템의 방수구간에 대해서는 화재의 영향범위를 20~30m로 보며, 여기에 다소의 여유를 두어 다른 설비와의 설치 간격을 고려하여 터널 종단 방향 50m를 1구간으로 한다. 구획의 경계에서 발생하는 화재에도 대처하기 위해 두 구간의 동시 방수가 되는 것을 표준으로 한다.

가솔린 화재에 대한 노즐의 살수량은 실험 결과에서 노면 1㎡당 6ℓ/min이상의 수량을 방수하면 충분한 억제 효과가 있다고 확인된 바 있다. 이 수량을 가능한 한 노면에 균일하게 분산시켜 살수하기 위해 살수기 헤드를 주행, 추월 양차선 일체용으로 하는 것이 바람직하며, 노즐의 설치간격은 노면 2, 4차선에 대하여 3~5m 정도로 한다.

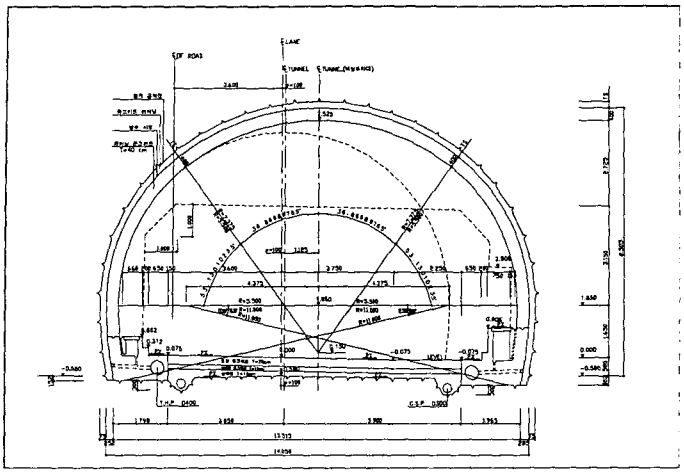
노즐은 보수 점검을 쉽게 하기 위해 감시원 통로 옆벽 상부에 설치한다. 설치 높이는 차도면 위에서 차량통행에 방해가 되지 않고, 터널내 전체에 분무분포를 얻을 수 있는 높이로 설치하여야 한다.

(표 2) 터널내 물분무 소화시스템 설치 요건

	설치조건	설치기준	정 의
물분무 소화시스템	터 널 연 장 4km이상	일제방수구역은 50m	물분무 노즐을 사용하여 물을 분무형상으로 분사하면서 화재를 질식 · 냉각작용에 의해 소화

● **물분무 소화시스템 설치적용 패턴**

물분무 소화시스템 설치 패턴은 터널내 도로형태와 환기기 설치위치에 따라 다르게 되며 터널내 천장판(횡류식, 반횡류식의 닥트판)이 있고 상황에 따라 구별해야 하나 본 연구의 일반 구간 터널에서는 천정판이 없는 터널로 FAN 구간 터널은, 비상 주차대 구간 터널은 천정판이 있는 터널로 설계한다.



(그림 1) 터널 내부 평면도

4. 물분무헤드 해석 조건

차선폭 범위 내의 노면 1㎡에 대해 6ℓ/min이상의 수량이 균등하게 살수되도록 배치한다.

(표 3) 다차선 터널 해석 조건

물분무 소화시스템의 방수량 설정은 방수압, 노즐구경, 분사각도, 설치각도 등을 고려하여 차선에 충분한 물이 방수되도록 노즐의 배치를 하고, 가능하면 터널한계 높이가 되도록 노즐종류 및 배치간격 등을 결정한다.

구 분	2차선	4차선
노즐 설치간격		
노즐 설치높이	5.7m	
방수량	Swirl Nozzle 110 L/min + Deflector Nozzle 140 L/min	Swirl nozzle 180 L/min + Deflector nozzle 240 L/min
노즐종류	조합형 노즐(Swirl & Deflector Nozzle)	
방수압력	3.5kg/㎠ 이상	

5. Droplet에 의한 분무분포

노즐에서 분사된 액막은 분열되어 액적(Droplet, 분무입자)으로 변하며 액적은 구의 형태로 되어 거동한다. 이때 공기에 의한 항력(Drag force) 및 질량에 작용하는 중력에 의해 액적에 대한 운동량이 변하며, 액적은 공간을 이동함에 따라 항력 및 중력의 힘이 액적에 작용하게 되므로 운동량 방정식(Momentum equation)에 의하여 분무분포를 구하였다.

■ 압력장에 의한 액적분열은 액적이 이동함에 따라 액적주위의 표면압력 분포가 표면장력보다 크게 되면 액적이 분열

■ 표면 전단응력에 의한 분열로 액적 표면에서의 공기에 의한 전단응력이 표면장력보다 크면 작게 분열

1) Swirl Nozzle의 분무

Swirl Nozzle의 경우 Nozzle로 부터 분사된 물은 표면장력 및 액막 내부 중심축 부근의 기체 재순환, 그리고 주위 기체 유입에 의한 액막의 분열현상 등에 의하여 액적으로 형성되어 분무되므로 Swirl에 의하여 분무되는 액적의 크기와 내부 중심부에서 분무되는 액적의 크기에 대한 분무각(Full cone spray angle)은 서로 상이하다.

● 2차선 분무분포

5.7m에 위치한 노즐에서 물이 분사될 때 분사된 물이 어느 정도 도달하는지 알아보기 위해 액적 크기(Droplet size)와 분사각(Cone angle)의 변화에 따른 분사입자 도달거리를 계산하였다. 이때 설치각은 0°즉, 수직 하방으로 분사되며 분사된 물은 26m/s의 속도로 노즐에서 Solid Cone Spray 형태로 분출된다.

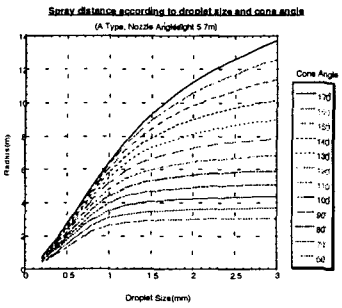
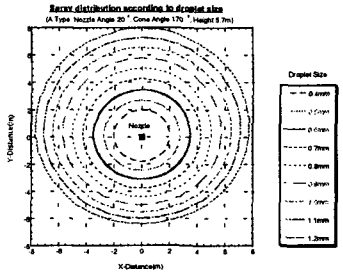
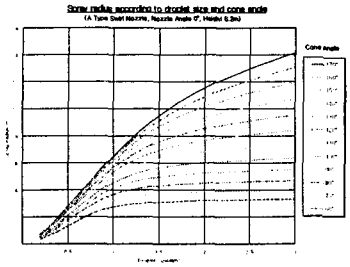
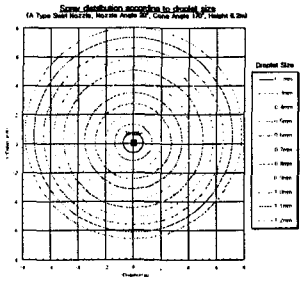
5.7m 높이에 20°로 기울어진 노즐에서 물이 분사될 경우 액적 크기에 따른 분무분포를 계산하여 (표 4)와 같이 분무분포를 얻었다.

● 4차선 분무분포

6.2m 노면상단에 설치된 Swirl nozzle로부터 물이 분사될 때의 액적 크기 및 분사각의 변화에 따른 분무거리를 (표 4)에 나타내었다. 이와 같은 분무분포를 얻기 위해서는 0.68 ~ 0.86mm 정도의 액적 크기로 분무되어야 한다.

높이 6.2m 상단에 설치된 노즐로부터 분사된 물이 어느 정도 도달하는지 알아보기 위해 액적 크기(Droplet size)와 분사각(Cone angle)을 변화시켜 지면에서의 분무 도달 거리를 계산한 것이다.

(표 4) 2, 4차선 분무거리 및 분무분포

차선	액적크기, 분사각에 대한 분무거리	액적크기에 따른 분무분포
2차선		
4차선		

2) Deflector Nozzle의 분무

Deflector에 부딪친 유체의 분무분포는 노즐의 유량과 관계있으며, 또한 노즐로부터 분사된 유체와 Deflector면과의 사이각을 의미하는 충돌각(Impact angle)에 의하여 좌우된다. Swirl Nozzle과 Deflector Nozzle 사이의 각이 100°이므로 Deflector Nozzle의 설치각은 120°가 된다.

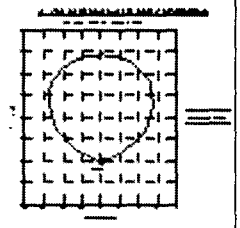
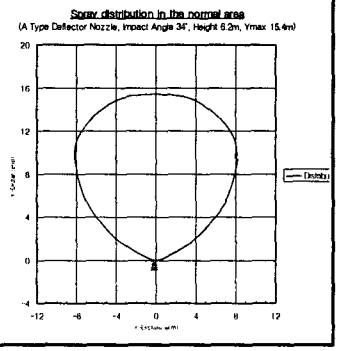
● 2차선 분무분포

5.7m 높이에 120°로 기울어진 Deflector Nozzle로부터 분사될 경우 Nozzle이 터널 중심에서 약 3.7m 거리에 설치되어 있으므로 터널 반대편까지 분무가 도달하기 위해서는 Deflector에 부딪친 물은 약 9m 이상 도달하여야 한다. y방향으로 약 9m이상 도달하기 위해서는 충돌각은 약 40°이며 이 때의 분무분포는 (표 5)에 나타내었다.

● 4차선 분무분포

4차선 일반터널의 경우 터널 폭이 18.12m이고, 노즐이 터널 한쪽 끝에서 3m 떨어진 위치에 설치되어 있으며 Deflector에 부딪친 물이 15.3m 이상 도달해야 터널 전체에 물이 분무될 수 있는 것이다. Deflector에 부딪친 물이 15.3m까지 도달할 수 있는 충돌각을 구한 분무분포는 (표 5)이며, 이때 충돌각은 40°이다.

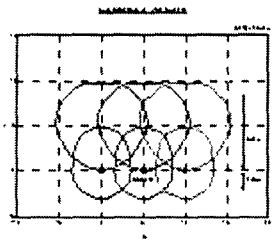
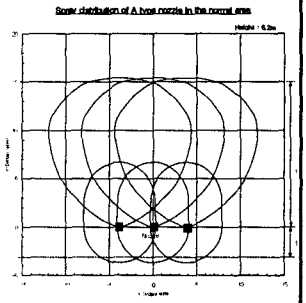
(표 5) 2, 4차선 분무분포

	2차선	4차선
Deflector Nozzle의 분무분포		

6. 터널내에서의 분무분포

(표 6)에 나타났듯이 5.7m 높이에 5m 간격으로 설치된 2차선 조합형 노즐(Swirl Nozzle & Deflector Nozzle)과 6.2m 높이에 3.8m 간격으로 설치된 4차선 조합형 노즐 의 분무 분포를 나타내고 있다. 터널 전 영역을 분무된 물이 고르게 분포되고 있음을 알 수 있다.

(표 6) 물분무 소화시스템 분무분포

	2차선	4차선
물분무 소화시스템 분무분포		

후기 : 본 연구는 2002년도 중소기업청 기술혁신과제의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

[1] R.D Reitz and R. Diwakar, "Effect of drop breakup on fuel sprays", SAE Paper 860469, 1986

[2] M.C Yuen and L.W Chen, "On drag of evaporating liquid droplets", Comb. Sci. & Tech., pp. 147-154, 1976

[3] L.M Milne-Thompson, "Theoretical Hydrodynamics", 5th edition, McMillan & Co., New York, 1968

[4] 홍준표, "컴퓨터 수치해석", 문운당, 1994

[5] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling and Brian P. Flannery, "Numerical recipes in fortran", 2nd edition, Cambridge University Press, New York, 1992

[6] D.J Tritton, "Physical Fluid Dynamics", Van Nosrand Reinhold Co., New York, 1977

[7] 김엽래, 최용"장대터널 Spray System 노즐 개발(제1보:일반터널구간)"한국화재·소방학회 추계학술대회논문집, 2001.11.16

[8] 김엽래, 이동명, 최용 "장대터널 Spray System 노즐 개발(제2보:비상주차대구간)"한국화재·소방학회 춘계학술대회 논문집, 2002. 3.

[9] 김엽래, 이동명 "장대터널 Spray System 노즐 개발(제3보:FAN구간)"한국화재·소방학회 춘계학술대회 논문집, 2002. 11.

[11] Risiko-Informationen zur Einschätzung von Strassentunneln "Risk Information to Assess Road Tunnels", Risk Management Services, Swiss Re, July 1999.

[10] 김엽래, 이동명, 최용, 장영남 "4차선 장대터널내 물분무 소화설비에 관한 연구"한국도시방재학회 춘계학술대회논문집, 2003.3.