

철도터널 화재시 연결통로 및 대피로 제연을 위한 수치해석 연구

양 성 진, 허 남 건^{*†}, 유 흥 선^{**}, 김 동 현^{***}, 장 용 준^{***}
서강대학교 대학원, ^{*}서강대학교 기계공학과, ^{**}중앙대학교 기계공학과, ^{***}한국철도기술연구원

Numerical Simulation of Smoke Ventilation in Rescue Route and Cross Passage of Railroad Tunnel

Sungjin Yang, Nahmkeon Hur^{*†}, Hong Sun Ryou^{**}, Dong Hyeon Kim^{***}, Yong Jun Jang^{***}
Graduate school, Sogang University, Seoul, Korea

^{*}*Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul, Korea*

^{**}*Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Korea*

^{***}*Track & Civil Engineering Research Department, Korea Railroad Research Institute, Uiwang, Korea*

(Received August 28, 2007; revision received November 16, 2007)

ABSTRACT: A transient 3-D numerical simulation was performed to analyze the fire safety in a railway tunnel equipped with a mechanical ventilation system. The behavior of pollutants was studied for the emergency operation mode of ventilation system in case of fire in the center of the rescue station and near the escape route. Various schemes of escape route construction for connection angle(45°, 90°, 135°) and slope(10°) were evaluated for the ventilation efficiency in the fire near the escape route. From the results, it was shown that the mode of the ventilation fan operation which pressurizes the tunnel not under the fire and ventilates the smoke from the tunnel under the fire is most effective for the smoke control in the tunnel in case of the fire occurrence. It was also shown that the blowing of jet fan from the rescue tunnel to the main tunnel should be in the same direction as the flow direction in the main tunnel arising from the traffic and the buoyancy.

Key words: Tunnel fire(터널화재), Ventilation(환기), Smoke control(제연), Flow analysis(유동 해석), Computational fluid dynamics(전산유체역학)

1. 서 론

산업 발달과 꾸준한 경제성장으로 인구가동과 물동량이 증대되었고 지역 간 균형발전과 기간산업 확장의 일환으로 교통망의 대용량화와 고속화

가 지속적으로 요구되고 있다. 우리나라는 국토의 70%가 산지인 지형 특수성으로 인해 교통망 확장시 터널 건설이 불가피한 실정이다. 이에 더불어 장거리 고속 교통수단의 일환으로서 고속철도가 지나는 선로의 엄격한 선형 조건을 감안한다면 수십 km에 달하는 장대 철도터널을 이용한 철도망 확장은 앞으로 꾸준히 있을 전망이다.

터널은 건축물 특성상 타 공간과 격리되어 있는 폐쇄적인 공간이므로 화재 발생 시 대량의 인

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-705-8637; fax: +82-2-712-0799

E-mail address: nhur@sogang.ac.kr

명피해가 일어날 수 있는 위험을 안고 있다. 특히 장대 터널의 경우에는 그 길이가 10 km 이상으로 화재열차의 자력 탈출이 불가능한 경우가 대다수이기 때문에 터널 내에 화재를 대비한 적절한 비상 환기 시스템 구축이 필수적으로 요구된다. 몇 번의 큰 열차화재 사고가 있었던 유럽의 선진국에서는 터널 환기 시스템에 대한 개발의 필요성이 대두됨에 따라 실제 터널에서의 화재실험 및 다양한 수치해석 연구가 활발히 수행되었다. Portmann et al.⁽¹⁾은 스위스의 Gotthard base 터널을 대상으로 적절한 환기유속을 산출해 내었으며, 두 구난역 사이의 비상정차가 매우 위험한 상황을 초래할 수 있다는 가능성을 진단했다. Alexander et al.⁽²⁾은 폐쇄된 터널에서 액화프로판 버너를 이용한 20 MW 화재강도의 전체 스케일 실험을 수행하였고 수치해석 결과와 비교하였다.

국내에서도 터널내의 제연설비 성능을 위한 다양한 연구들이 수행되었으며 현재 활발히 진행 중이다. Kang et al.⁽³⁾은 철도 터널 화재시 임계 유속 전후의 대피 환경에 대하여 고찰하였고, Kim et al.⁽⁴⁾은 구난역과 같은 대피공간이 마련된 국내 최초의 초장대 터널인 솔안터널(16.24 km)을 대상으로 피난로에서 승객대피를 위한 적절한 제연장치의 배연성능을 1/48 축소 실험을 통해 산출해 내었으며, 수치해석을 통해 이를 검증하였다.

본 연구에서는 건설 예정중인 대관령 터널을 모델로서 구난역의 양쪽 단선 터널을 잇는 8개의 횡갱을 사실적으로 모사해 화재 터널에서 비화재 터널로 오염물질이 침투하지 못하도록 하는 적절한 임계속도를 제안하였고, 사갱 근처에서 화재 열차가 정차하게 되는 위급 상황을 고려하여 본선 터널과 피난용 사갱의 연결 형태에 따른 제연 효율을 진단하였다.

2. 열차화원 및 안전기준

2.1 대피공간 안전기준

대피공간의 오염물질 허용치에 대하여 제정된 국내의 확실한 기준은 아직 없기 때문에 본 연구에서는 외국의 기준을 참고하여 횡갱 및 사갱의 대피공간의 안전성을 진단하는데 다음과 같은 사

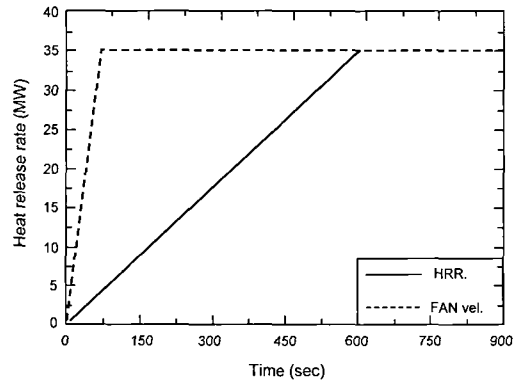


Fig. 1 Heat release curve and jet-fan operation curve in tunnel fire.

항을 적용하였다.

(1) 공기온도 : 대피로는 보통 60 °C ~ 80 °C 이하의 범위를 유지해야 하며^(5,6), 수초이내 대피가 가능한 경우는 60 °C 이하, 그리고 6분 이상 대피 시간이 걸릴 경우는 평균온도 49 °C 이하로 유지되어야 한다.⁽⁷⁾

(2) CO 농도 : 최대 수초 이내는 2000 ppm, 6분 이내는 1500 ppm, 15분 이내는 800 ppm 그리고 그 이상은 50 ppm 이하로 유지되어야 한다.⁽⁷⁾

2.2 열차화원 및 발열량

승객용 객차는 보통 20 MW의 열방출율을 보이며, 중수 화물 차량(Heavy Good Vehicle)의 경우 30~35 MW 그리고 연료탱크의 누설 화재 시 최고 100 MW 이상의 열방출율을 보인다.^(8,9) 하지만 승객용 차량일지라도 알루미늄 몸체일 경우에 최고 43 MW의 높은 열방출율이 기록되어 있다.⁽⁹⁾ 본 연구에서는 승객용 객차의 최대 열방출량을 감안하여 중수 화물 차량의 최대 열방출률인 35 MW를 해석에 이용하였고 열방출을 곡선은 Fig. 1에 도시하였다.

3. 수치해석

3.1 해석 모델과 격자 생성

본 연구의 해석 모델은 건설 예정중인 원주와 강릉을 잇는 20 km 길이의 초장대 터널을 대상으로 하며 해석영역으로 터널 중앙 부분인 Fig. 2에 나타난 2 km의 양방향 단선 터널을 고려하였

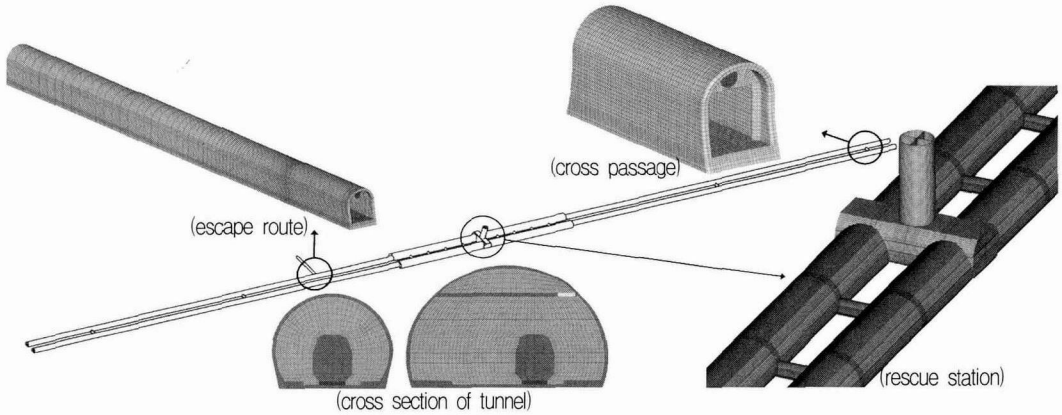


Fig. 2 Computational mesh of the tunnel.

다. 각 터널은 각각 폭 9.60 m, 높이 7.04 m의 단선형태이며 중앙 구난역을 제외한 터널내 350 m 간격마다 비상 대피용 횡갱이 있다. 터널 중앙에 400 m 길이의 구난역이 설치되어 있으며, 40 m 간격으로 8개의 대피 횡갱이 위치하고 있다. Fig. 3에는 본선터널과의 연결 형태에 따른 네 개의 다른 사갱의 모습이 나타나있다. Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)를 통해 사갱의 경사에 따른 제연 성능을 비교하였고, Fig. 3(a), Fig. 3(c) 그리고 Fig. (d)를 통해서 사갱의 연결부 각도에 따른 제연 성능을 고찰하였다. Fig. 4에는 터널내 제연팬의 위치와 화재시 비상환기 방식을 도시하였다. 구난역 상부 6.7 m의 위치에 20개의 가압댐퍼(1.5 m × 4 m)가 설치되어 있으며 대피횡갱과 사갱의 상부 2.4 m에는 각각 제연팬(D800 mm)이 설치되어 있다. Fig. 4에 표시된 화재 격자(Fire cell)는 화재가 발생한 열차 1량을 의미한다. 열차의 길이는 총 200 m이며, 해석영역으로는 양방향의 본선터널과 사갱 그리고 구난역 내부의 유동영역을 고려하였다. 총 해석격자는 4,550,000개로 구난역을 포함한 터널 및 열차의 솔리드 부분이 650,000개이며, 터널 내부의 유체격자는 3,900,000개이다.

3.2 해석 방법

수치해석을 수행함에 있어서 상용 프로그램인 STAR-CD V3.26을 사용하였으며, 본 연구실에서 보유하고 있는 옵테론 2.4 GHz 6CPU 리눅스 클러스터를 사용하여 한 케이스의 해석에 약 5일의 계산시간이 소요되었다.

터널 내 유동의 지배 방정식은 3차원 압축성 시간 평균 Navier-Stoke 방정식이며, 표준 $k-\epsilon$ high Reynolds 모델을 사용하여 난류 유동을 고려하였고 또한 SIMPLE 알고리즘을 사용하여 비압축성 유동해석을 수행하였다. 유동장의 대류항과 확산항의 처리는 MARS 방법을 적용하였다. 구난역 상부와 횡갱 및 사갱에 설치된 댐퍼 및 제연팬의 운전을 모사하기 위해 해당 격자에 사용자 서브프로그램(User subroutine)의 모멘텀 소스텀을 적용하였다. 구난역 상부 댐퍼는 8.33 m/s, 그리고 대피 횡갱과 사갱의 제트팬은 6.5 m/s의 팬 용량에 해당하는 환기량을 구현하였으며 열차 중앙차량의 화

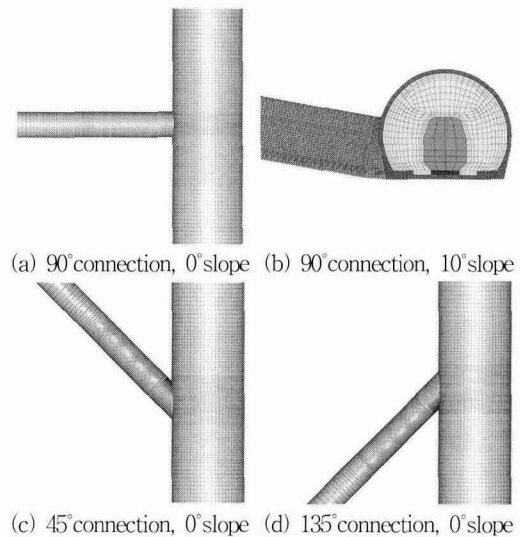


Fig. 3 Connecting scheme between a rescue route and a main tunnel.

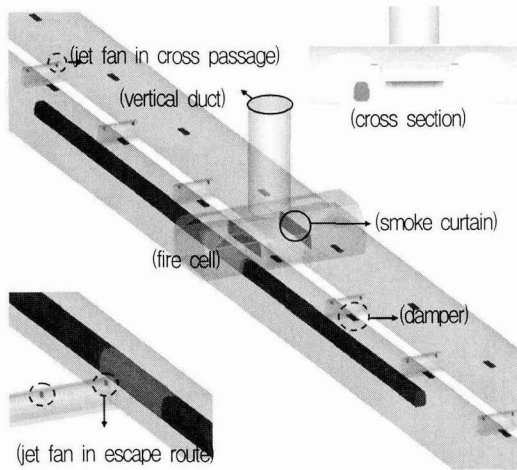


Fig. 4 Scheme of the ventilation system in tunnel.

제를 표현하기 위해 시간에 따른 엔탈피 증가를 해당 격자에 Fig. 1의 곡선으로 적용하였다. 오염물질의 농도는 화재강도가 증가함에 따라서 비례적으로 증가하는 것으로 가정하였다. 따라서 해석에 고려된 최대 열방출률 35MW일 때 최대 CO 방출률을 보이며 이때 화재 차량의 농도 값을 최대치 1로 기준하였다.

3.3 제연 해석 조건 및 화재 시나리오

본 연구에서는 화재발생 징후가 포착된 열차가 터널내 비상 정차한 상황을 가정하여 해석이 시작된다. 화재 강도는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 시간에 따른 일차곡선으로 증가하여 화재 발생 후 10분 후에 35MW로 최대 발달한다. 그 이후에는 5분 동안 35MW로 일정하게 유지되어 해석시간은 총 15분이 된다. 화재가 발생한 부분은 열차의 중앙차량으로 설정하였으며, 열차 한량의 체적 202 m^3 가 전소하는 것으로 고려되었다. 화재 시 유독가스 및 열 방출율과의 관계($\text{CO } 3330\text{ mg/MW}^{(10,11)}$)에 의거 35MW의 화재 강도에서는 최대 $116,550\text{ mg}$ 의 CO가 생성될 수 있으며, 이는 열차 1량 내의 가상 체적 공간(22 m^3)⁽³⁾에서 발생하는 것으로 가정하여, 최대 CO 스칼라 농도 1값은 약 4567 ppm 의 농도를 의미한다. 이는 화재 발생 10분 후 최대 열방출량 35MW에 이르렀을 때 화재 차량에서 내뿜는 CO의 최대치가 4567 ppm 에 이를 수 있다는 뜻이다.

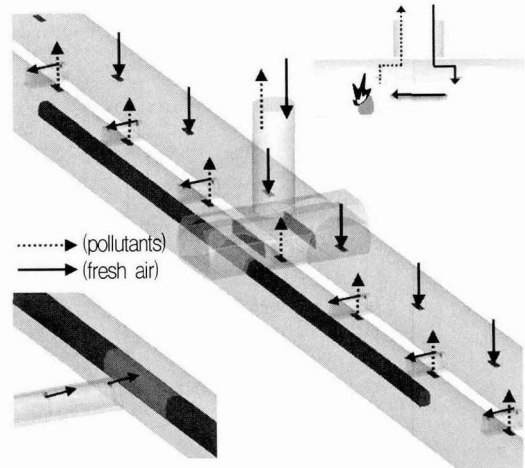


Fig. 5 Operation of ventilation system in tunnel fire.

제연 거동을 위한 모든 댐퍼와 팬은 화재가 시작됨과 동시에 가동이 되도록 사용자 부프로그램에 설정하였으며, 각각의 제연 용량에 해당하는 성능을 나타내기까지 1분이 걸리는 것으로 고려하였다. 해석 시작 후 1분에 이르렀을 때 구난역 상부 댐퍼는 정상운행 속도인 8.33 m/s 로 가동하며 횡갱 및 사갱에 설치된 제연팬은 6.6 m/s 로 각각 정속 운행한다.

본 연구에서는 총 5케이스의 해석이 실행되었는데, 첫째로는 화재 징후가 감지된 열차가 구난역 중앙에 비상 정차 했을 경우를 가정한다. Fig. 1에 도시된 화재 발달 상황에서 구난역 6.7m상부의 댐퍼와 대피 횡갱 2.4m상부에 설치되어 있는 제연팬 가동 시 유동과 열·매연의 확산을 검토하였고 안전기준에 근거하여 피난 안전성을 판단하였다. 구난역과 사갱의 환기 시스템은 Fig. 4에 나타나있으며 환기 시스템을 구성하는 축류 제연팬과 댐퍼, 제연커튼 그리고 수직 덕트가 각각 터널에서 어디에 위치하고 있는가를 나타낸다. 화재 시 환기 시스템의 가동 방식은 Fig. 5에 도시되어 있다. 터널의 상부 댐퍼는 $1.5\text{ m} \times 4\text{ m}$ 의 면적과 8.33 m/s 제연용량을 지닌다. 화재 열차에서 발생한 오염물질은 상부 댐퍼의 흡기로 터널 지붕 공간으로 모이게 되며 수직 덕트를 통해서 외부로 방출된다. 비 화재 터널 상부의 댐퍼는 같은 용량으로 외부의 신선한 공기를 터널 내부로 가압시키며 신선한 공기는 대피 횡갱 2.4m 상부에 위치하는 직경 800mm의 축류 제트팬

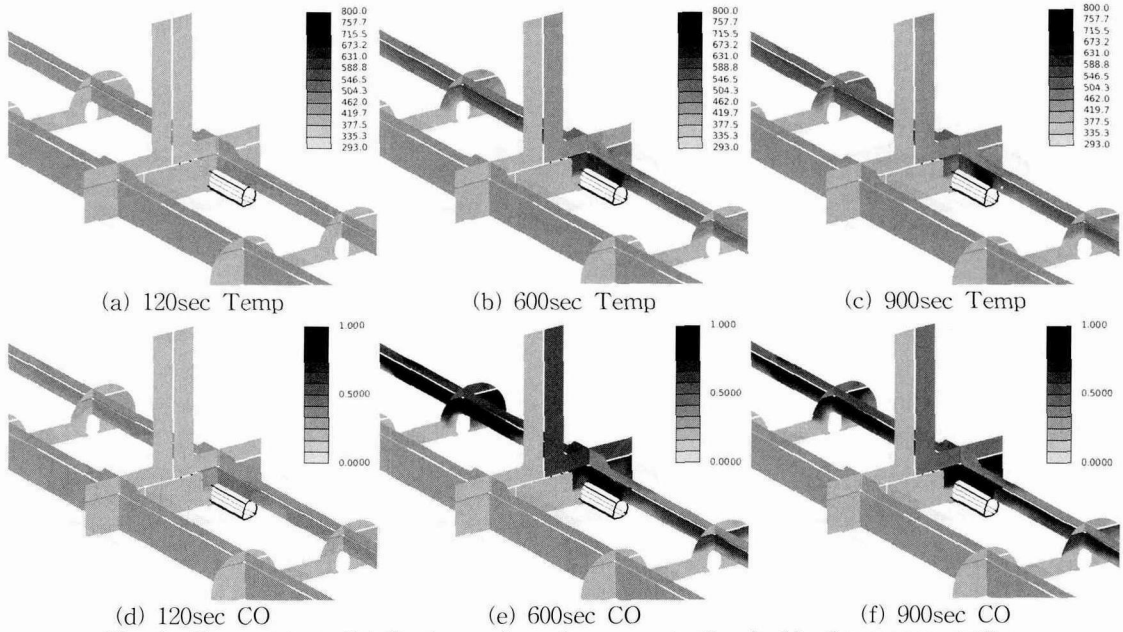


Fig. 6 Temperature distribution and smoke concentration inside the rescue station.

에 의해서 6.6 m/s의 제연 용량으로 화재 터널로 가압하게 된다. Fig. 5에 이러한 터널 내 오염물질과 신선한 공기의 흐름을 각각의 화살표로서 표시하였다.

두 번째에서 다섯 번째 해석은 화재 열차의 사갱 부근 비상 정차를 고려한다. 이는 화재 열차가 구난역에 정차 하지 못한 비상시를 가정한 것이다. 첫 번째 케이스와 동일한 화재 발달 조건 하에서 사갱 내 2.4m 상부에 위치한 축류 제트팬에 의하여 오염물질이 사갱의 안전공간으로 침투하는 것을 방지하도록 고려되었으며 사갱의 연

결부 각도와 경사에 따른 네 가지의 해석 케이스를 Table 1에 간단히 정리하였다. 실선 화살표는 교통환기력과 부력방향을 나타내며, 쇠선 화살표는 제연 방향을 나타낸다. 케이스 2와 3은 화재 구역에 대해 직각 방향으로 제연을 하며 사갱의 기울기가 0°와 10°로 구별이 된다. 케이스 4의 경우에는 사갱에 설치된 제트팬이 교통환기력 및 부력이 작용하는 방향으로 가동하지만, 케이스 5의 경우에는 교통환기력과 부력에 반하는 방향으로 가동하도록 고려되었다. 터널과 사갱의 자세한 격자 모습은 Fig. 3에 도시되어 있다.

Table 1 Computational cases

---> : Direction of ventilation		---> : Direction of traffic and buoyancy	
Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
90° connection 0° slope	90° connection 10° slope	45° connection 0° slope	135° connection 0° slope

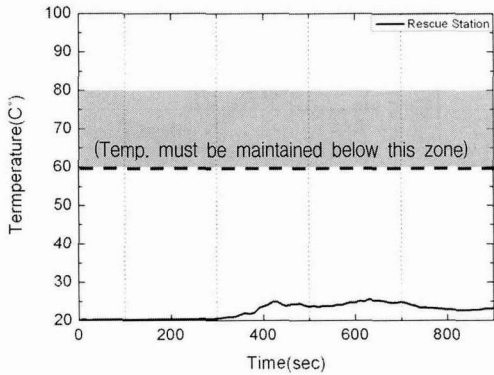


Fig. 7 Temperature versus time at the gate of the center cross passage.

4. 수치해석 결과 및 검토

Fig. 6은 케이스 1에 해당하는 구난역 화재에서의 제연 결과이다. 화재 발생 후 2분 경과와 10분 후 그리고 15분 후의 각각 시간에 따른 열 방출을 하에서 온도와 CO농도의 분포를 나타내

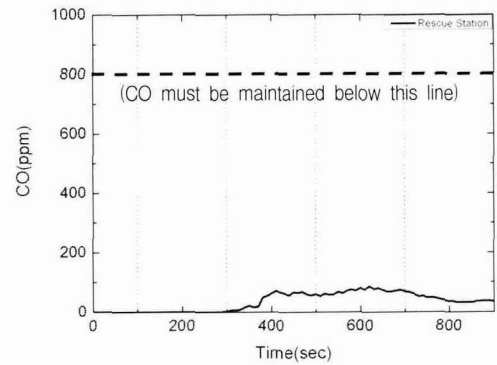


Fig. 8 Smoke concentration versus time at the gate of the center cross passage.

었다. 화재 발생 2분 후 터널의 오른편 중앙에 위치하는 열차 상부의 온도가 소폭 상승하고 오염물질이 방출되고 있음을 확인할 수 있다. 화재 발생 10분 후 오염물질은 화재 터널을 가득 메우게 되고 화재 차량을 중심으로 $600\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에 이르는 높은 온도 분포와 최대치의 CO농도를 보

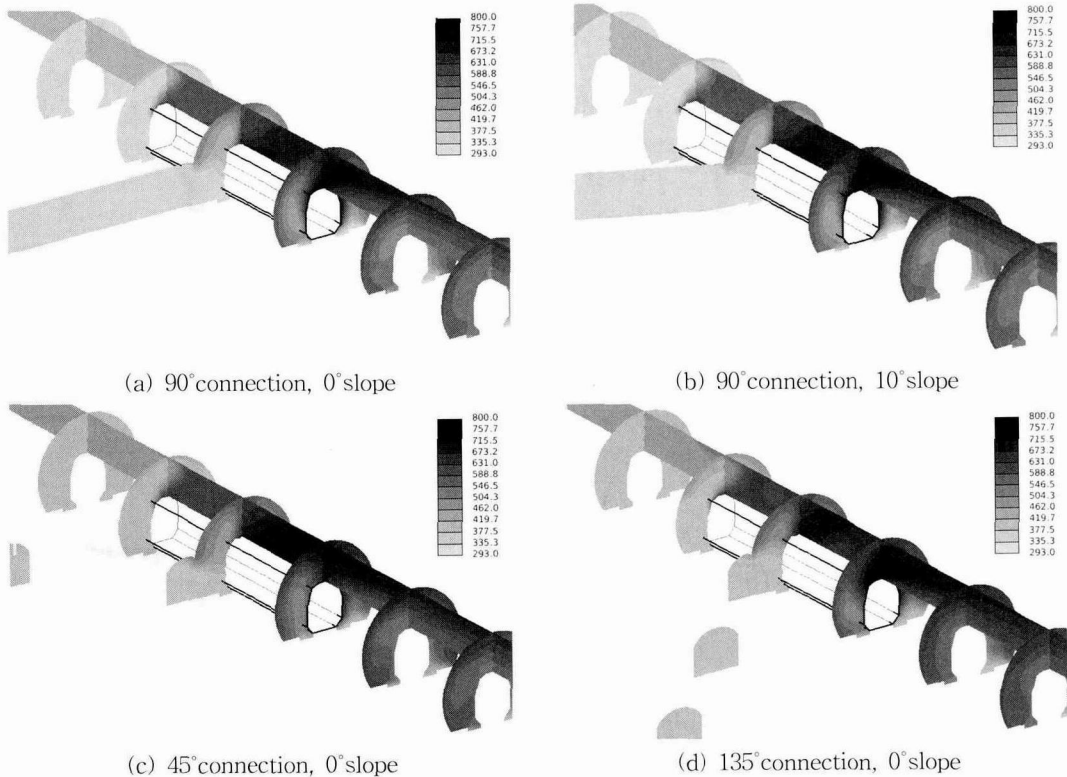


Fig. 9 Temperature distribution near the escape route(600sec).

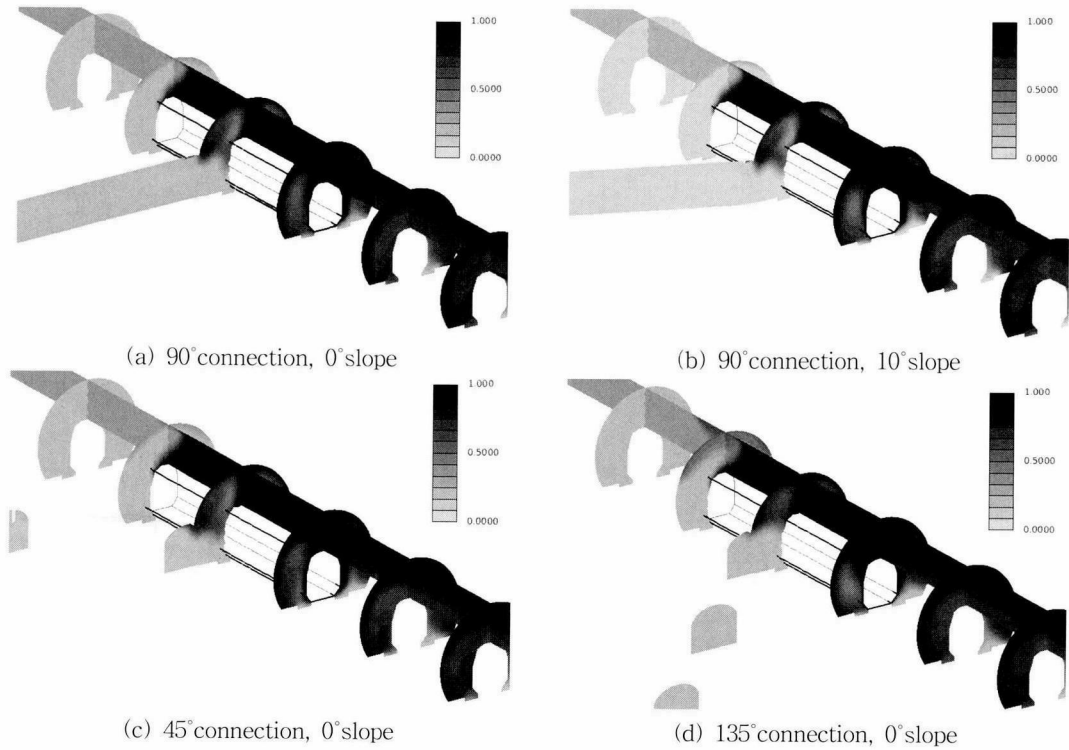


Fig. 10 Smoke concentration near the escape route(600sec).

인다. 하지만 오염물질은 화재 터널 상부의 댐퍼와 수직 덕트를 통하여 외부로 적절히 방출된다. 따라서 구난역 전반에 걸쳐 오염물질이 화재 터널 쪽에서 정체되어 있는 바람직함 거동을 보여준다. 구난역 중앙 피난로를 따라서 상부 쪽으로

침투하는 오염물질이 제연커튼으로 인하여 더 이상 침투하지 못하며 비화재 터널은 안전한 상태로 유지됨을 관찰 할 수 있으며, 이러한 유동 경향은 해석 종료 시간인 화재발생 후 15분까지 지속된다. Fig. 7, Fig. 8은 구난역 중앙 피난로 입구의 지상고 1.5m의 호흡높이에서의 온도와 CO 농도를 시간에 따라서 나타낸 그래프이다. 전 시간대에 걸쳐 대피로 입구의 온도와 오염물질의 농도는 안전기준에 의거 매우 안전한 범위 내에 있으므로 구난역의 제연 설비는 바람직한 방식으로 이해될 수 있다.

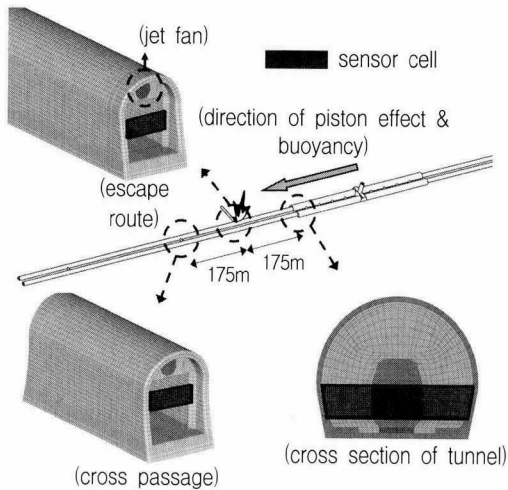


Fig. 11 Scheme of three escape routes.

Fig. 3에 도시된 네 종류의 연결부를 갖는 각각의 터널 형상에서 앞서 해석했던 동일한 화재 발달 조건을 적용하여 각각의 사갱 근처에서 화재 열차가 정차했을 때 열 및 오염물질의 거동을 해석하였고 그 결과를 Fig. 9, Fig. 10에 나타내었다. 각각 최대 화재강도(35 MW, 600 sec)에서의 사갱 형태에 따른 터널내부 온도 및 CO농도를 나타낸다. 최대 화재 발달 상황에서 터널을 메운 오염물질의 거동이 터널 하류로 흐르는 것을 관찰할 수 있는데 이것은 터널이 20.4% 기울

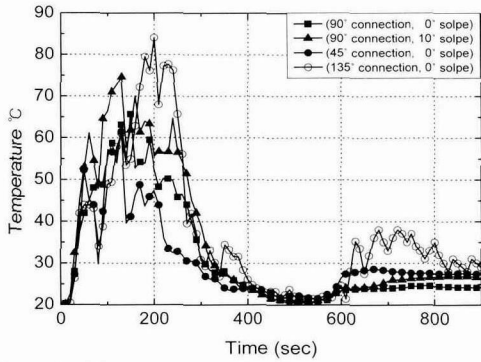


Fig. 12 Temperature distribution in front of the escape route.

어져 있기 때문에 발생하는 부력과 교통 환기력의 증첩효과로 인한 기류 때문이다. 그 크기는 1.7~1.9 m/s의 범위로 고려되었으며 구난역 중앙 화재 경우에는 8.33 m/s에 이르는 상부 댐퍼의 오염물질 배기 작용으로 인하여 이러한 부력과 교통 환기력이 유동 전반에 지배적으로 영향을 미치지 못한다. Fig. 9, Fig. 10의 결과로 보아 네 가지 형태의 사갱 모두 안전 공간 내부로 오염물질이 침투하지는 않았다. 따라서 해석에 적용된 6.6 m/s의 환기 속도는 35 MW의 화재 규모에서 back-layering을 발생시키지 않는 적절한 환기 속도로 평가된다. 4가지 사갱 형태에 따른 제연거동의 효율성을 비교 분석하기 위해 화재 발생 시 승객의 피난로를 Fig. 11에 나타낸 것과 같이 3가지로 나누어 고찰하였다. 사갱 인근에서 화재 징후가 보이는 열차의 비상 정차 시 승객은 사갱을 통해 터널 외부로 피난할 수 있으며, 175 m 하류에 있는 횡갱을 통해서 비화재 터널 또는 175 m

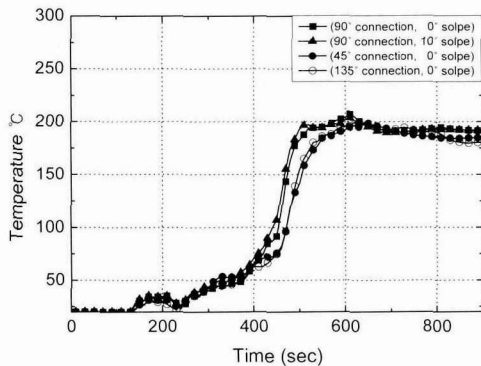


Fig. 14 Temperature distribution in front of the cross passage.

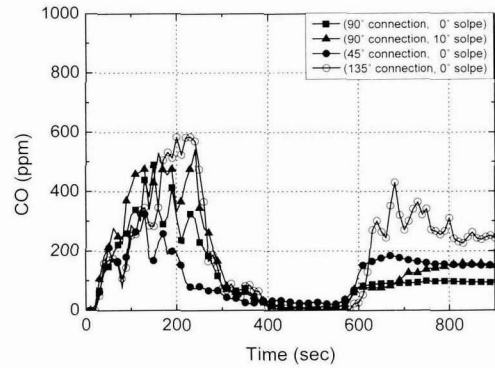


Fig. 13 Smoke concentration in front of the escape route.

상류에 있는 구난역으로 피난할 수 있다. 사갱 입구의 방화문과 횡갱 입구의 방화문 그리고 구난역 진입시의 1.5 m 높이의 호흡높이에서의 온도와 오염물질의 농도가 피난환경의 안전 기준에 중요한 척도가 되므로 해당부위의 격자에 센서를 설치하여 온도와 CO농도를 측정하였다.

Fig. 12, Fig. 13의 그래프는 승객의 사갱으로의 피난을 가정하여 사갱의 방화문 입구에서의 온도와 오염물질의 시간에 따른 변화를 나타냈다. Fig. 12의 그래프에서는 45°, 90° 연결의 사갱에서 전 시간대에 걸쳐 안전기준에 부합하는 온도 분포를 보인다. 그러나 135° 연결된 사갱의 경우에는 Fig. 11에서 화살표로 표시된 부력과 교통 환기력이 작용하는 기류에 반하는 방향으로 제연을 하기 때문에 제연의 효과가 다소 떨어질 수 있고 그 결과 전 시간대에 비교적 높은 온도 범위를 보였으며, 80°C를 넘어서는 온도 분포를 나타내기도 하였다. Fig. 13의 그래프에서는 모든

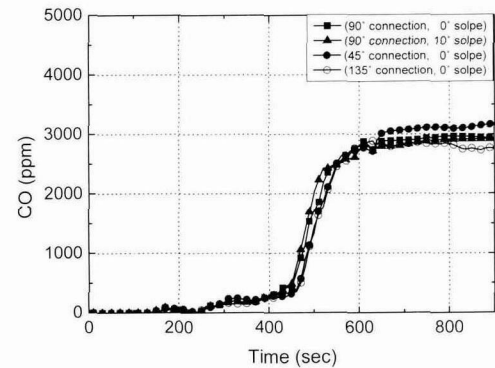


Fig. 15 Smoke concentration in front of the cross passage.

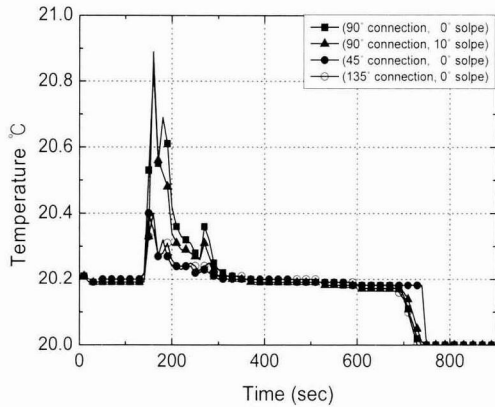


Fig. 16 Temperature distribution near the rescue station.

케이스에 대하여 8분 이내 대피기준인 800 ppm을 만족하는 것으로 나타난다. 하지만 135° 연결된 사갱이 비교적 큰 CO농도 분포를 보였으며, 45° 연결된 사갱에서 가장 낮은 범위의 CO농도 분포를 나타내었다. 터널내의 승객의 평균 피난 속도⁽¹¹⁾ 0.85 m/s를 감안할 때 전체 열차 길이는 200 m이며 그 절반은 100 m이므로 약 2분의 피난 시간이 주어지게 된다. 따라서 주어진 시간 내에 대피를 완료하면 모든 사갱의 경우에 안전할 수 있다는 결론이 나온다. 하지만 그 피난 시간을 벗어날 경우 사갱이 135° 연결된 터널에서는 위험한 상황이 초래될 수 있기 때문에 부력 및 교통 환기력과 반하는 방향으로의 제연 방식은 효율이 떨어지며 바람직한 제연 방식이라 할 수 없다.

Fig. 12, Fig. 13의 결과를 통해서 사갱의 경사 10°는 제연 거동에 심각한 영향을 미치지 않는 것으로 확인되며 보통 승객이 터널 외부로 탈출하기 위한 목적으로 터널 설계 시 불가피하게 10°~12°범위 내에서 경사가 고려되므로 이는 터널 설계 시 충분히 고려될 수 있는 요소라 생각된다.

화재 발달 후 10분 후에는 방화문 입구에서 온도와 CO농도 값이 소폭 상승하는 경향이 발견된다. 화재차량에서 뿜어져 나온 뜨거운 오염물질은 열부력으로 터널 상부로 치솟게 되며 터널 천정을 타고 흐르는 기류(ceiling jet)를 형성하게 된다. 이는 열차의 피스톤 효과 및 경사로 인한 부력으로 일정한 방향으로 흐르게 되는데 시간이 지남에 따라 하부에서 계속 공급되는 오염물질로 인해 터널 벽면을 타고 밀려 내려오는 현상을 보

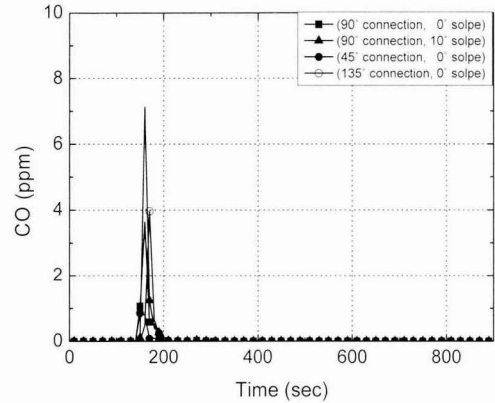


Fig. 17 Smoke concentration near the rescue station.

인다. 이것이 위에서 언급한 소폭의 온도 및 CO농도의 상승을 설명한다. 따라서 제연 방향이 열차에 수직한 90°도 연결부에서 관찰되는 화재발생 10분 후의 온도 및 CO 농도 상승률이 가장 적었으며, 열차에 비스듬히 붙어준 45° 135° 연결부의 사갱에서 상대적으로 높은 온도 및 CO농도의 상승폭을 관찰할 수 있었고, ceiling jet와 반대방향의 제연 방향을 갖는 135° 연결부의 경우에 다소 높은 온도 및 CO농도의 변동 폭을 나타낸다.

Fig. 14, Fig. 15의 그래프는 화재 차량으로부터 175 m 하류에 위치하는 횡갱을 통하여 비화재 터널로의 피난을 시도하는 경우를 가정하였고, 횡갱의 입구 1.5 m 호흡높이의 영역에서 온도 및 CO농도 값을 시간에 따라 나타낸 것이다. 승객의 평균 피난 속도⁽⁸⁾ 0.85 m/s를 가정했을 때 피난 구간 175 m는 보통 200초 정도의 피난 시간을 필요로 한다. 따라서 예정된 피난 시간 내에 하류의 횡갱으로 대피한다면 안전할 수 있지만 오염물질이 흐르는 방향이기 때문에 시간이 지남에 따라 매우 위험할 수 있다. Fig. 14, Fig. 15의 그래프를 통해서 알 수 있듯이 400초를 넘어서면 급격하게 온도와 CO농도 값이 상승하며 최대 200 °C 온도와 3000 ppm의 CO에 노출된다. 반대로 Fig. 16, Fig. 17은 화재열차의 상류 방향인 구난역 쪽으로 대피하는 상황을 가정했으며 구난역에 들어서는 입구 지점의 1.5 m 호흡높이에서 온도 및 CO를 측정하였다. 화재 발생지점의 상류에 위치하는 이 구간은 전 시간 영역에서 매우 낮은 온도 및 CO농도를 보이므로 상류 방향으로의 피난은 매우 적절하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 화재 시 구난역과 피난용 사갱을 주 관심 영역으로 제트팬과 방화문을 사실적으로 모사하여 제연 거동에 대한 수치해석을 수행하였으며 35MW의 화재 크기에서 고려된 제연 팬 운행이 적절한지 평가하였고, 그 과정에서 다양한 유동 가시화를 통해 효과적으로 그 결과를 확인하였다. 본 연구를 통하여 화재 터널 쪽에서 적절한 배기로 오염물질을 외부로 방출시키고 비화재 터널 쪽에서의 배연과 신선한 외부 공기를 가압하는 방식의 제연 팬 운용이 터널 내 제연에 효과가 있음을 검토하였다. 화재열차의 사갱 인근 비상 정차 상황 하에서는 사갱과 본선 터널과의 연결부 형태와 경사에 따른 총 4개 케이스의 제연 효과를 비교함으로써 부력 및 교통환기력과 반하는 방향으로의 제연은 터널 설계시 지양하여야 하며 10°의 경사는 충분히 고려될 수 있음을 보였고 또한 화재발생 지점으로부터 상류 쪽으로 대피는 안전하지만 하류 방향의 피난은 매우 위험한 상황을 초래할 수 있음을 진단하였다.

후 기

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국철도기술연구원에서 위탁 시행한 철도안전기술개발 사업의 일환으로 수행한 것입니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Portmann, D. and Shaha, J., 2002, Optimal use of jet fans in the Gotthard base tunnel near the portals to support the emergency ventilation, International Tunnel Forum.
2. Alan, P. and Alexander. D., 2006, Movement of smoke in tunnels : A comparison of theory and practice, Computational Wind Engineering, pp. 585-588.
3. Kang, S. Y., Kim, K. H., Cho, Y. J. Lee, J. H. and Oh, M. D., 2000, Evacuation environment in a railroad tunnel on fire, SAREK J., pp. 181-187.
4. Kim, D. H. and Park, W. H., 2006, Experiment by reduced scale models for the fire safety of a rescue station in very long rail tunnel in Korea, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 21, pp. 303-313.
5. Meacham, B. J., 1998, NIST GCR 98-761 : Evolution of performance-based codes and fire safety design method, NIST, p. 65.
6. Chow, W. K. and Li, S. M., 1999, Safety requirement and regulations reviews on ventilation and fire for tunnels in the Hong Kong special administrative region, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 14, pp. 18-20.
7. NFPA 130, 2000, Standard for fixed guide way transit and passenger rail systems, National Fire Protection Association, USA.
8. Ota, Y. and Horiuchi. K., 2001, A study on thermal analysis for tunnel structures in the incidence of fire, Proceedings of the 4th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, pp. 151-160.
9. Park, K. H., 2005, A study on model and influential factor of design fire size in tunnels, University of Seoul, Seoul, Korea.
10. Bjornback, M., Bylin, G., Svartengren, M., Jungnelius, S., Bellander, T., Bostrom, C. E., Johansson, C. and Westerlund, K. G., 2000, Impact on health of exposure in toad tunnels, 10th International symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Vol. 43, pp. 23-40.
11. Wang, J. B., 2003, A study on the fire risk analysis on the railway tunnel and subway area, Korean Society for Railway, Vol. 40, pp. 32-45.