

# 터널 화재발생시 시뮬레이션 프로그램을 통한 승객대피계획 A study on the rescue design of passengers for railway tunnel fire accidents by using simulation program

권순섭\*  
Kwon, Soon Sub

이종선\*\*  
Lee, Jong Sun

이관호\*\*\*  
Lee, Kwan Ho

권우성\*\*\*\*  
Kwon, Woo Sung

---

## ABSTRACT

Fire accident in tunnel is one of the most critical railway accidents, together with overturning of train by derailment and train crash.

Tunnel structures contribute to minimize the cost and time of transport, but in case of railway fire accident occurring bring serious damages of human life caused by narrowness of shelter, poisonous smoke and high temperature raised at the inside of tunnel.

For that reason, at the beginning of plan of tunnel, the optimum design for rescue of passengers is needed. For the detail and most suitable design for rescue of passengers, many tunnel designer substituted simulation program for mock examination by its high cost and effort.

In this study, simulation program techniques, such as Fluent and Simulex, are applied for verifying the rescue design of passengers reduced the risk when fire accident occurred at tunnel utilizing of case study for planned railway tunnels shows 1,245m length in Iksan-Sili area.

---

## 1. 서론

터널내에서의 화재발생은 공간적 제약성으로 적절한 대응조치를 취하지 않으면 질식으로 인한 인명안전에 심각한 문제를 야기할 수 있다.

2003년에 발생한 대구지하철 화재를 비롯하여 일본의 北陸터널화재, EURO 터널화재, 오스트리아 산악철도 터널화재 등에서 알 수 있듯이 지하구간에서 열차화재사고가 발생할 경우, 외부연결(대피)통로가 한정되어 있고 공기가 밀폐되어 있어 많은 양의 연기와 열이 생성 될 수 있기 때문에 외부 또는 지상에서의 상황과약, 탈출, 진화, 방어 및 구조활동을 취하는데 큰 어려움을 가지고 있는 현실이다.

따라서 터널에서 화재발생시 원활한 승객대피를 유도할 수 있는 터널설계가 이루어져야 하며 보다 정확하고 최적의 승객대피계획을 수립하기 위해서는 실제 모의실험이 진행되어야 하나 막대한 비용과 인력을 필요로 하고 있기 때문에 보다 저렴한 비용으로 정확한 결과값을 얻기 위해 시뮬레이션 프로그램을 사용하는 것이 보편적이다.

본 연구에서는 전라선 복선전철 익산-신리간에 위치한 터널을 모델로 하여 터널 화재발생시 인명피해를 줄이기 위해 수립된 승객대피계획에 대해서 simulation을 통해 설계의 적정성을 검토하였다.

## 2. 지배방정식에 대한 고찰

### 2.1 운동량방정식

본 논문에서는 해석대상인 철도터널내 유동은 비압축성 난류운동이라 가정, 통계적 난류모델을 적용하여 정상(steady) 및 비정상(Unsteady) 수치해석을 시간평균으로 유도된 운동량방정식을 사용하여 수

---

\* 1) 남광토건(주) 토목사업본부 상무이사·정회원·E-mail : 20064885@namkwang.co.kr · TEL : 02)3011-0135

\*\* 2) 남광토건(주) 토목기술팀 팀장·비회원 ·E-mail : jslee9@namkwang.co.kr · TEL : 02)3011-0470

\*\*\* 3) 남광토건(주) 토목기술팀 과장·비회원 ·E-mail : 20054793@namkwang.co.kr · TEL : 02)3011-0324

\*\*\*\* 4) 남광토건(주) 토목기술팀 대리·비회원 ·E-mail : kwonws@namkwang.co.kr · TEL : 02)3011-0497

행하였다.

한편, 비압축성 유동해석을 위해서 일반적으로 적용되는 Boussinesq Approximation을 사용하였다.

$$F_B = g_i(\rho - \rho_o) \approx -\rho g_i \beta (T - T_o) \quad (\text{식 1})$$

여기서  $g_i$  : 중력가속도  $\rho_o$  : 기준 밀도  $T_o$  : 기준 온도  $\beta$  : 체적열팽창계수

그러나 화재와 같이 온도차가 큰 유동에서는  $\beta$  값이 온도에 따라 변화폭이 크므로 더 이상 Boussinesq Approximation을 적용하는데 무리가 있다. 따라서 본 논문에서는 열차의 운행에 의한 발열량을 반영하고 해의 정확도를 높이기 위하여 지배방정식에 부력항,  $F_B = g_i(\rho - \rho_o)$  을 직접 적용하도록 하였으며 기준밀도와 기준온도는 외기온도(31.6°C)를 기준으로 설정하였다.

## 2.2 난류모델과 에너지방정식

격자의 수와 계산시간을 고려하여 공학적으로 응용범위가 넓고 수렴성이 좋은  $k-\epsilon$  모델을 사용하였다.

## 2.3 임계유속 산정

임계유속의 산정에는 상사법칙을 이용한 Kennedy식을 사용하였으며 다음과 같은 반복계산식 2, 3 및 4를 이용하였다.

$$V_c = K_g \times F_{rc}^{-1/3} \times \left( \frac{g H Q}{\rho_\infty \cdot C_p \cdot A_r \cdot T_f} \right)^{1/3} \quad (\text{식 2})$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho_\infty \cdot C_p \cdot A_r \cdot V_c} + T_\infty \quad (\text{식 3})$$

$$K_g = 1 + 0.0374 \text{ } gr^{0.8} \quad (\text{식 4})$$

## 3. 해석조건

### 3.1 터널제원

터널명	연장 [m]	구배 [%]	단면적 [m <sup>2</sup> ]	둘레길이 [m]	대표직경 [m]	갱문형상	
						시점부	종점부
OO터널	1,245	-0.9	75.8	43.17	7.02	벨마우스형	벨마우스형

### 3.2 화재장도

차량 종류	최고 열방출량	최고열방출량도달시간	적용
철제 IC객차 1량	12MW	20분	
철제 IC객차 10량	40MW	-	
철도터널방재기준	15MW	-	○

### 3.2 교통환기력

열차정차위치	임계유속 (m/s)	풍속*(m/s)	제연팬 대수
터널입구	2.12	0.90	0
터널중앙		2.49	0
터널출구		5.18	0

\* : 열차정차시 교통환기력에 의한 터널내 풍속

### 3.3 오염물질 발생량

화재가스 구성물질	방출량(mg/MW)	화재강도 (MW)	적용
CO	3,330	15	0.1(kg/s)
HCl	1,950		
HCN	12.5		
NOx	122		

### 4. 해석결과

익산-신리 구간에 있는 터널연장 1,245m의 OO터널의 방재기준에 적합한 방재시스템을 결정하기 위해 화재강도: 15MW, CO 발생량 0.1kg/s로 가정하여 화재위치별 대피위치별로 화재발생에 대한 simulation을 실시하여 그 결과를 그림 1~4에 나타내었다.

그림 1은 열차정차시 경과시간(초)에 따른 CO 농도분포를 나타낸 것으로 터널 입구, 중앙 및 출구에서 승객 대피거리가 각각 370, 460 및 460m로 안전한 것으로 조사되었다.

그림 2~4의 결과로부터 알 수 있듯이 터널입구 화재발생시 피난연락갱 미설치시 터널입구 기준 약 690m 지점부터 연기 확산거리가 승객대피거리를 초과하는 것으로 나타났다. 또한 화재발생으로 인한 연기로 시야확보가 어려워 대피속도가 감소할 우려가 있는 것으로 조사되었다.

한편 터널 중앙에 화재가 발생 할 경우 대피승객이 연기에 250초 이상 노출되고 피난연락갱으로 탈출시 30초 노출이 되며 대피승객이 피난연락갱으로 탈출하고자 할 경우 화재차량 주변을 통과해야 하는 문제점이 발생되었다. 터널 출구에 화재가 발생할 경우 대피승객 중 일부의 대피거리가 약 1km 이며 연기로 인한 시야확보가 곤란하였다.

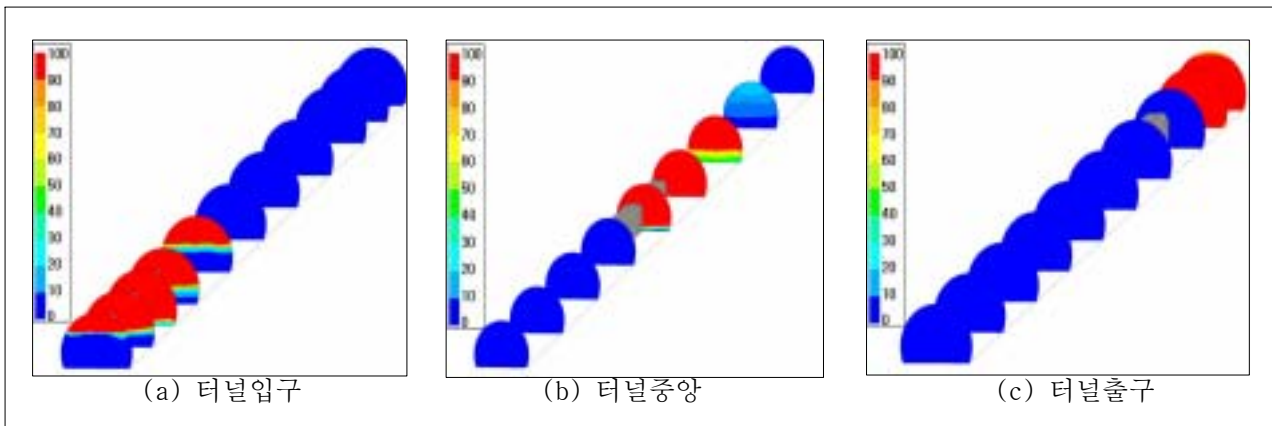


그림 1 열차정차 후 경과시간에 따른 CO 농도 분포 (화재발생 위치별)

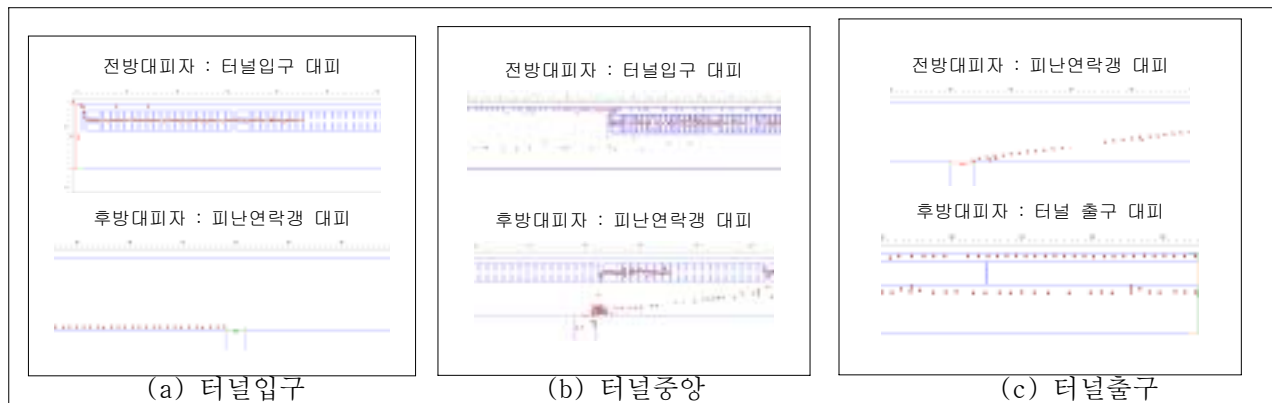


그림 2 승객대피현황 (화재발생 위치별)

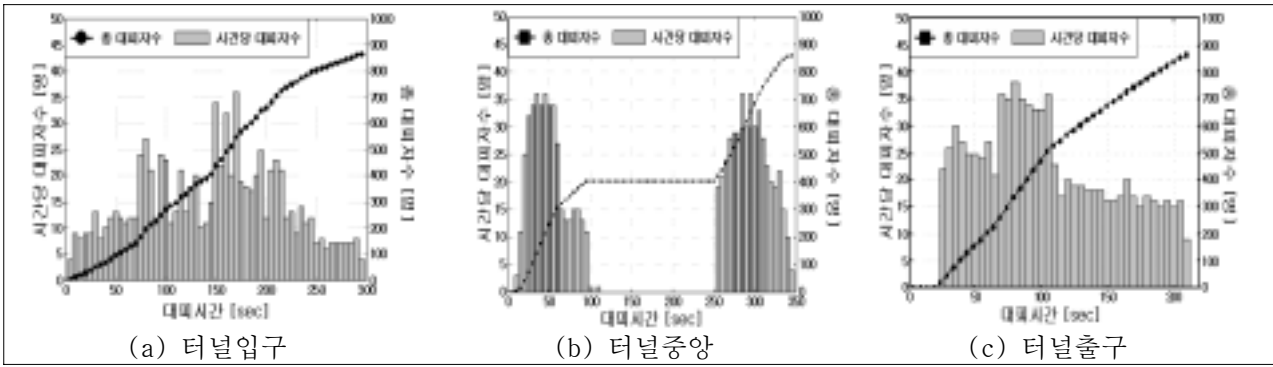


그림 2 승객대피현황 (화재발생 위치별)

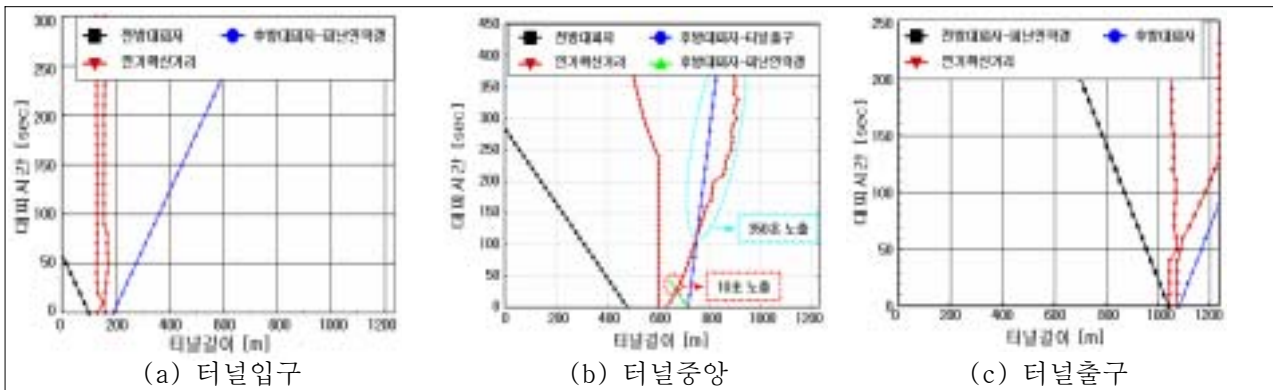


그림 3 승객대피시간 (화재발생 위치별)

### 5. 결론

익산-신리 구간 OO터널의 방재시스템 결정을 위한 화재발생 simulation 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 열차정차시 경과시간(초)에 따른 CO 농도분포 측정결과 모든 화재발생 위치에서 안전한 승객 대피거리를 확보한 것으로 나타났다.
2. 피난연락갱 미설치시 모든 화재발생 위치에서 대피승객의 피난거리를 단축시키기 위한 피난연락갱 및 대피방향 표지판의 설치가 필요하였다.
3. 터널화재 발생시 연기로 인해 시야확보가 어려워 대피속도가 감소될 우려가 있어 연결송수관 및 비상조명등의 설치가 필요한 것으로 조사되었다.

### 참고문헌

1. 왕중배 외, 철도화재 안전관리체계개선 및 장기전략 수립방안에 관한 연구
2. 리스크매니지먼트서포트(2003), 철도터널 정량적 화재 위험성 평가
3. 박찬우 외, 철도사고 위험분류 및 원인분석에 관한 연구 . 한국철도학회 05 추계학술대회논문집, pp. 599-604.
4. 곽상록 외, 확률론적 기법을 활용한 철도터널의 화재사고 시나리오의 구성 , 한국철도학회논문집, 1738-6225, 제7권4호, pp.302-306.
5. KFP(2005), 「The SFPE handbook of Fire Protection Engineering 3rd」 .
6. 곽상록 외(2003), “철도시스템의 확률론적 위험평가 모델 개발 연구 - 터널화재 위험도 평가에의 적용” , 한국철도학회 03 추계학술대회 논문집(II) , pp.265-270