

지하공간의 위험성평가에 관한 연구 -지하철 역사내의 연기제어를 위한 제연경계벽의 효용성 평가 A Study on the Risk Assessment of the Underground Space -The Estimation of Smoke Reservoir Screen for Smoke Control in Subway Station Platform

노삼규[†] · 허준호

Sam-Kew Roh[†] · Jun-Ho Hur

광운대학교 건축학부

(2004. 11. 10. 접수/2004. 12. 24. 채택)

요 약

지하공간에서의 재난은 많은 인명피해를 가져오고 있어서 지하공간에 대한 위험성평가는 인명피해를 최소화할 수 있는 방안으로 우선되어야 한다. 특히 지하철 역사에서의 피난동선과 연기의 이동경로가 동일하여 발생하는 피해를 최소화하기 위한 수직개구부상의 제연경계벽 설치연구는 필수적이며, 화재시 물레이션을 통한 평가를 통하여 그 효용성을 분석한 결과 연기제어와 피난여유시간을 확보하고 기존 역사에 설치된 제연설비와의 연계된 작동시 많은 효과가 있을 것으로 확인되었다. 이를 통하여 일부 수도권 지하철 역사에는 수직개구부에 제연경계벽을 설치하였고, 계속적으로 위험성평가를 통한 분석을 진행하고 있다.

ABSTRACT

The risk of underground space become an important issue of life safety thought the Taegu subway line Accident. It is essential to study of smoke control screen to minimize the damage of human life because of smoke passage and passenger evacuation routes are on the same vertical and dispersion movement. The Fire modeling result shows the effect of fire control screen can save the evacuation time about 2~2.5 times compare to existing the system However, The designs of fire control screen need to be complied with smoke control ventilation system to present optimum design and the position of installation.

Keywords : Subway, Fire modeling, Fire control screen

1. 서 론

2003년에 발생한 대구 지하철 화재참사는 국내 지하공간 시설의 문제점을 명확하게 알려준 계기가 되었으며, 특히 화재발생시 피난에서의 문제점은 많은 인명피해와 재산피해를 동반한다는 사실을 증명하였다.

이러한 지하공간(지하역사, 터널 등)은 그 구조적 공간적 특성상 화재발생시 피난동선이 연기의 이동경로와 동일하여 다량의 인명피해를 발생시킬 수 있는 장소로서 피난층으로 통하는 수직개구부상의 연기제어에

대한 대책은 인명피해를 최소화하는 방안으로 필수적이라 하겠다.

이 경우 법적기준과 규정의 시설에서 벗어나 효율적인 구조적 보안을 위하여 성능설계의 방안으로 지하철 역사의 승강장과 같은 지하공간의 수직개구부에 제연경계벽을 설치하고, 이 시설을 이용한 효과적인 연기제어를 통하여 최소의 피난여유시간을 확보한다면 기존의 역사시설을 효율적으로 이용하면서 연기제어가 가능한 경제적 측면의 대안을 제시할 수 있다.

본 연구에서는 도시지하공간인 지하철 역사의 화재특성과 제연경계벽의 구성 및 규정을 고찰하고 화재시 피난을 위한 효과적인 연기제어를 위한 제연경계벽의

[†] E-mail: roh@daisy.kwangwoon.ac.kr

효용성을 성능설계의 방법인 컴퓨터 모델링 기법을 적용하여 비교분석함으로써 지하공간의 위험성평가를 실시하였고, 이를 통하여 성능기준에 부합된 지하철 역사의 연기제어 설계대안 및 적용사례를 제시하고자 한다.

2. 지하철 역사의 화재위험성 분석

지하철 역사는 지하공간중에서도 타 공간과 공간적 특성이 매우 다르며, 특히 도심교통의 주이용 수단으로 대량의 불특정 인구가 밀집되어 있어 화재시의 위험은 매우 크고 연소, 피난, 공간적 특성을 가지고 있다.

2.1 연소특성

무창층과 같은 환경으로 화재발생초기 다량의 연기가 발생되고 내부의 공간적 한계로 인하여 연기의 축적과 가연성 내장재에서 발생하는 유독성 가스가 다량 발생하여 인명피해의 원인이 된다.

2.2 피난특성

조명이 없는 지하 무창층(화재시 전기의 단절로 전원공급차단)에서 불특정 다수인이 피난하게 되며 폐쇄 공간에서의 Panic 현상이 발생하고 피난구 및 피난계단의 위치판단이 어려우며 대량인원의 일시적인 피난으로 2차적 재해발생 우려가 있다.

2.3 공간특성

피난경로상 수직개구부를 통하여 계단을 올라가야 하는 체력적 소모와 피난인들의 피난방향과 연기의 이동통로가 동일하여 피난에 어려움이 있으며, 화재진압 및 구조를 위한 소방대의 진입과 이동도 곤란하다.

3. 제연경계벽의 구성 및 적용

3.1 제연구획과 규정

지하공간의 연기제어를 위한 제연경계벽은 최근 개정된 국가화재안전기준(NFSC) 501의 규정을 따르고 있다.¹¹⁾

3.2 제연경계벽의 구성

상기와 같은 규정에 의하여 건축물의 제연구획을 위하여 설치하는 제연경계벽을 지하공간(지하철 역사)의 승강장 수직개구부의 연기제어와 피난여유시간 확보를 위한 방법으로 구성하고자 현재 설치하고 있는 제연경계벽의 구조를 살펴보고 지하철 승강장 수직개구부에 가상으로 구성하여 보았다.

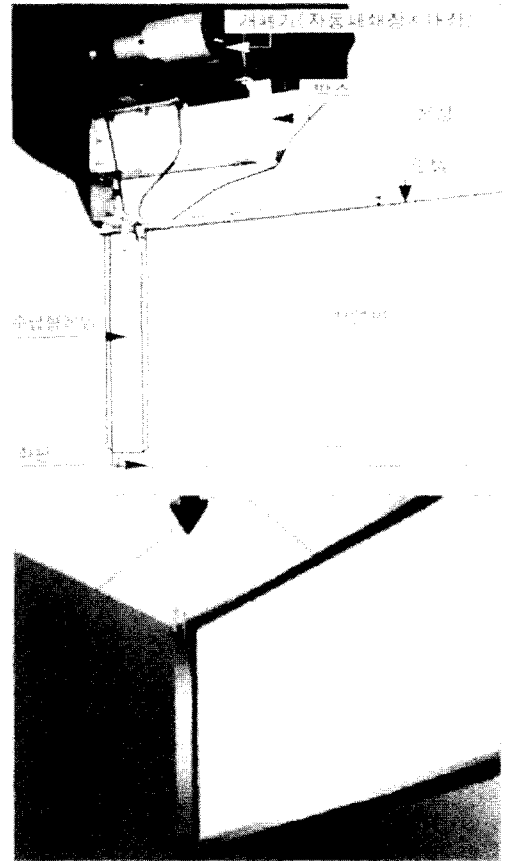


Fig. 1. 배연커튼형 제연경계벽.

3.2.1 제연경계벽의 종류

□ 배연커튼형

천정속의 매립형으로 천정면의 미관을 고려할 수 있으며 화재시 수신기의 신호에 의하여 자동으로 작동된다.

- 1) 유리섬유에 실리콘을 코팅, 경량으로 내열성 및 기밀성이 우수
- 2) 화재시 연기감지기 신호에 의하여 연동제어 및 조작반에 의한 원격조종이 가능

□ 망입유리 고정형

천정하단부에 고정으로 설치하며 미관을 고려한 망입유리재질로 설치

- 1) 유리가 가진 미관을 최대한 살려서 시야를 방해하는 일이 없어 미려한 분위기를 연출
- 2) 전기적인 장치없이 간편하게 시공되어 공기단축 및 비용절감의 효과를 가져옴
- 3) 강력한 후레임과 판유리에 금속망을 넣어 외부의

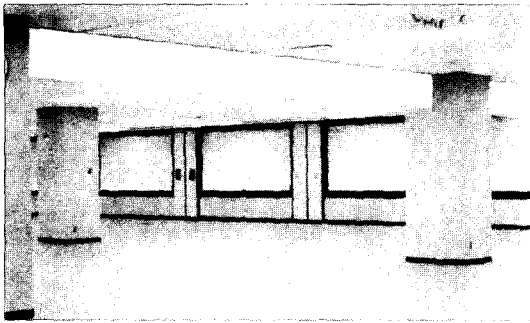


Fig. 2. 망입유리 고정형 제연경계벽.

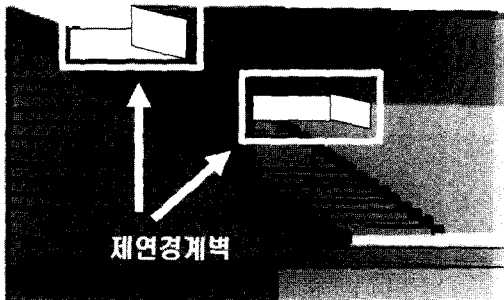


Fig. 3. 지하철 승강장 수직개구부의 제연경계벽 구성.

충격으로 파손시 유리파편이 안전하게 붙어있어 차단능력이 좋음

3.2.2 제연경계벽의 수직개구부 구성

본 연구에서는 화재시 연기의 확산 및 이동을 제어하기 위한 제연구획설비인 제연경계벽을 수직개구부에 설치(Fig. 3)하여 연기제어를 하고자 한다.

4. 제연경계벽의 효용성 검토

4.1 지하철 역사(지하)의 공간구성

지하철 역사의 공간구성은 대수 지하철 역사의 공간을 기준으로 하였으며 상층부와의 개구부수를 고려하여 전체공간길이의 1/3(폭, 높이는 동일) 크기로 하고, 지하3층의 구조로 피난계단을 통한 수직개구부와 지상까지의 거리를 동일하게 구성(Fig. 4)하였다.

4.2 화재시나리오와 화재모델

4.2.1 화재시나리오

지하 3층 공간의 지하철 역사내 승강장의 전동차 내부에서 방화로 인한 화재가 발생하고 화염과 연기는 지하철 승강장 천정부로 확산된 후 수직개구부를 통해

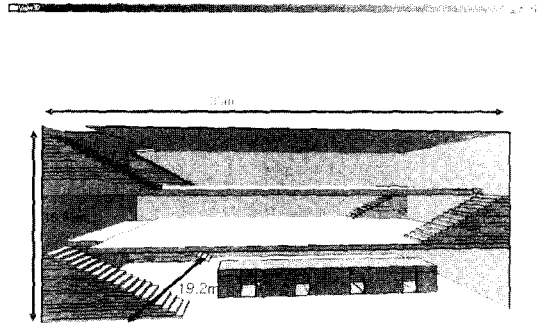


Fig. 4. 지하철 역사의 공간구성.

상층부로 점차 확대된다. 이때 역사에 설치된 제연설비는 작동하지 않는 것으로 가정한다.

화재는 최초 Unsteady fire로 진행된 후 최대성장시 steady fire로 일정시간 유지된 것으로 보며 화재성장속도는 Ultra-fast이고 열방출비율은 국내 지하철 역사 및 본선터널 화재안전설계기준 제안과 동일한 20 MW로 하였다.⁶⁾

4.2.2 화재모델 및 이론적 배경³⁾

본 연구에서 사용된 화재모델 프로그램은 영국 BRE (Building Research Establishment)의 Fire Dynamic Center에서 개발된 JASMINE 3.23 version의 화재예측 CFD 모델이며, 질량, 운동량, 에너지 그리고 연료 혼합분율 등의 질량보존방정식을 계산하고 열기류와 연기의 거동, 화재생성물의 물리적, 화학적과정 및 반응등을 실제와 가깝게 묘사할 수 있다. JASMINE 모델에 사용된 전달방정식은

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho u_j \phi - \Gamma_0 \frac{\partial \phi}{\partial x_j} = s_0 \text{ 이며,}$$

여기서 ϕ 는 각각의 독립변수이고, $x_{1,2,3}$ 은 직각 좌표계에서 각각의 좌표를 의미한다. ρ 는 유체의 밀도를 나타내고, $u_{1,2,3}$ 은 직각 좌표계의 세방향에서의 속도, Γ_0 는 확산항의 계수, s_0 는 소스항을 의미하며 연기생성물의 분석을 위한 수치해석은 다음과 같다.

Density

$$\rho = \frac{p w_{mix}}{RT}$$

where,

w_{mix} : Mean molecular mass of the gas mixture

p : Thermodynamic pressure

R: Universal gas constant(8314 J kg⁻¹ k⁻¹)

T: Temperature(Kelvin)

Specific heat

$$c_p(T, m_i) = \sum_i m_i(b_{0,i} + b_{1,i} + b_{2,i} T^2)$$

where,

m_i: Mass fraction of species

i, b₀, b₁, b₂: Constants

Temperature

$$T = T_0 + \frac{h - \Delta H_{fu} m_{fu}}{\bar{c}_p}$$

where,

T₀: Reference(ambient) temperature(°C)

ΔH_{fu}: Heat of combustion of the fuel

\bar{c}_p : Mean specific heat between T₀ and T

4.3 제연경계벽의 효용성 분석

4.3.1 화재시물레이션 분석

화재시물레이션을 이용하여 지하공간에 위치한 지하철 역사공간의 화재시 수직개구부상에 제연경계벽 설치유무(Fig. 5)를 비교검토하여 효용성을 분석하였다.

본 연구는 지하역사의 공간에서 피난에 필요한 최소한의 시간적 여유를 확보하기 위하여 수직개구부를 통한 화재 및 연기전파를 예상하여 화재발생 직상부층에서의 연기하강을 분석하고 이를 통하여 제연경계벽이

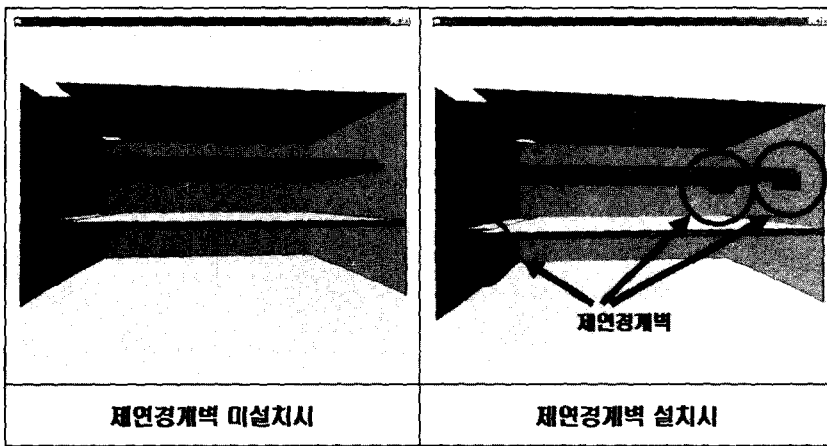


Fig. 5. 제연경계벽 설치구성.

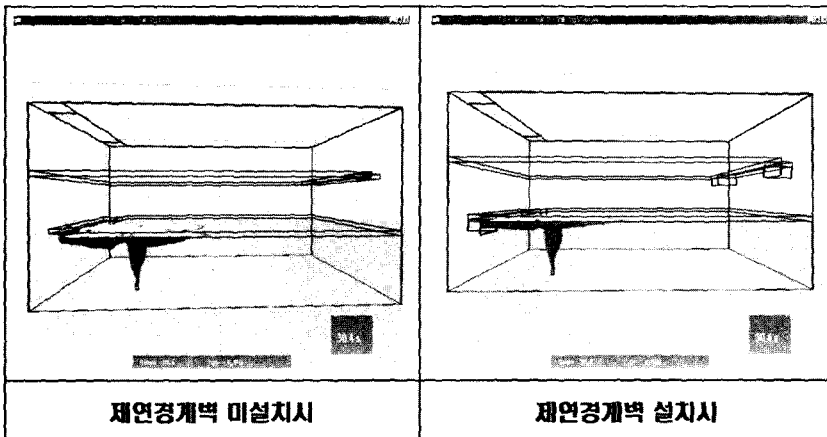


Fig. 6. 발화 30초 후의 연기의 유동.

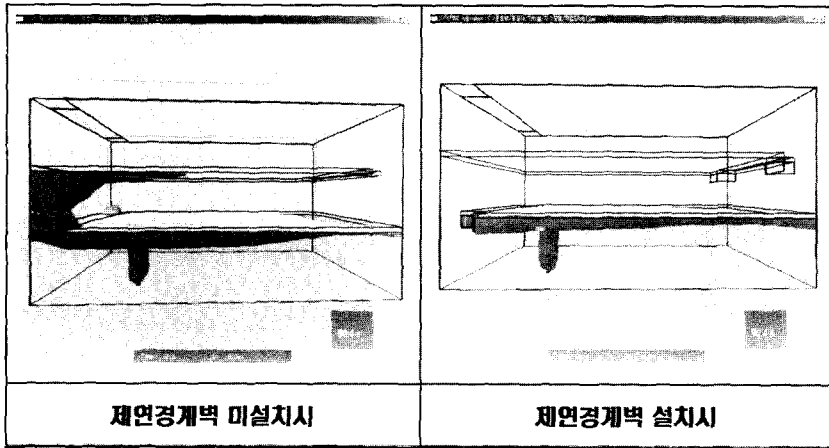


Fig. 7. 발화 90초 후의 연기의 유동.

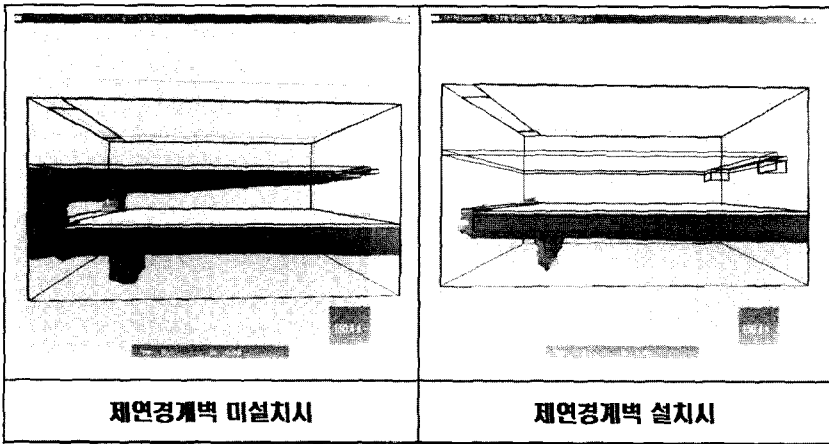


Fig. 8. 발화 150초 후의 연기의 유동.

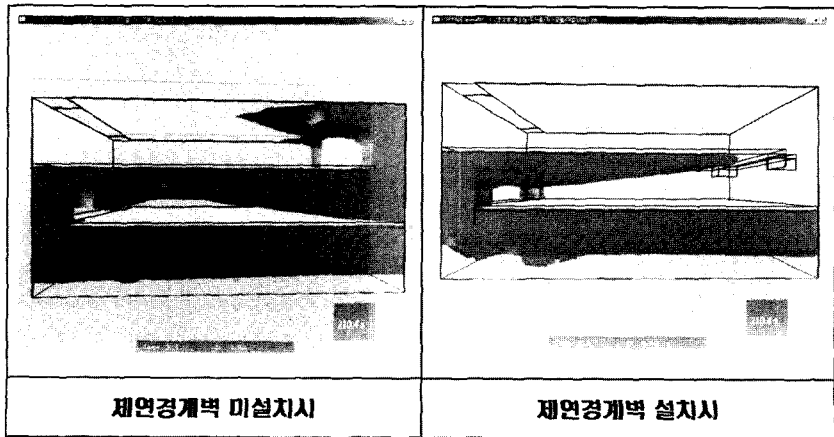


Fig. 9. 발화 210초 후의 연기의 유동.

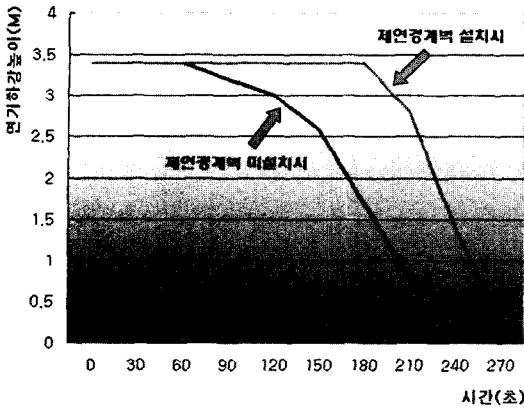


Fig. 10. 발화 상부층 연기층의 높이.

지하층 화재시의 피난동선상 상부층의 연기하강을 지연시킬 수 있는 지를 확인하고자 하였다. 화재시물레이션결과 발화 30초경에는 제연경계벽의 설치유무와 상관없이 연기가 발생하는 상황(Fig. 6)을 보여주며 발화 90~150초경에는 제연경계벽에 의한 상층부로의 연기차단이 이루어지고(Figs. 7, 8) 발화 210초 이후에는 최상층부까지의 연기가 전파(Fig. 9)됨을 알 수 있다. 따라서 Fig. 10의 그래프에서 나타난 발화 직상부층의 화재시물레이션 연기하강분석을 통하여 화재가 발생한 승강장의 상부층에서의 연기하강시간을 분석해본 결과, 지하역사 승강장에서 발생한 화재에서 생성되는 연기는 지하철 역사의 수직개구부에 설치된 제연경계벽을 설치하는 경우 층의 천정부에 연기의 축적을 유도하여 제연경계벽을 설치하지 않는 경우에 비하여 연기의 층간 전파를 지연시켰다. 이러한 연기차단효과는 상부층에서 연기전파로 인하여 발화 170초경에 인명피해가 예상되는 연기층의 하강높이(바닥에서 1.8m~2m 정도)에 도달하는 미설치경우에 비하여 발화 230초경에 도달하는 설치시의 경우를 비교하여 볼 때(Fig. 10 참조) 약 60초 정도의 피난여유시간을 확보할 수 있음을 시물레이션을 통하여 예측할 수 있었다.

그러나 지하철 내장재와 전동차의 종류에 따라 발생하는 연기량은 본 연구와는 별도로 각기 다를 수 있으므로 그 연기의 축적속도는 변할 수 있다.

4.4 제연경계벽 설계대안 제시

4.4.1 수직개구부의 제연경계벽 설치

제연구획의 의한 제연경계벽을 지하철 역사의 수직개구부에 설치하여 제연구획을 강화한다. 이와 같은 제연경계벽의 효과는 화재시물레이션에 의한 연기유동으로 확인되었다.

4.4.2 설치효과

본 연구에서의 지하공간 수직개구부상 제연경계벽은 피난동선과 동일한 연기의 이동경로를 차단하고 층간 제연구획을 통해 기존시설보다 60초 이상의 피난여유시간을 확보함으로써 인명피해를 줄일 수 있으며, 축소된 규모의 모델링 실험으로 입증된 결과는 실제공간에 적용시 연기축적공간의 확대로 더 많은 피난여유시간의 확보가 가능할 것으로 예측되며, 기존 설치되거나 설치예정인 제연설비의 작동시에는 발생하는 연기를 외부로의 기계적 배출이 가능하여 상부층으로의 연기확대 및 전파지연효과가 더욱 커질 것으로 예상된다.

4.4.3 기존 제연설비와의 연계성

현재 지하철 역사의 승강장에 설치된 제연설비(대부분 공조겸용 제연설비)는 용량이 부족하고 노후화로 설비의 작동이 불확실하여 이를 전용 제연설비로 교체시에는 재정적 어려움이 예상된다. 따라서 전용제연설비를 지향하는 것이 필수적이나 경제성 등을 고려하여 현재의 제연설비를 활용하면서 효과적인 연기제어를 할 수 있는 수직개구부상의 제연경계벽을 설치하는 것이 바람직하다.

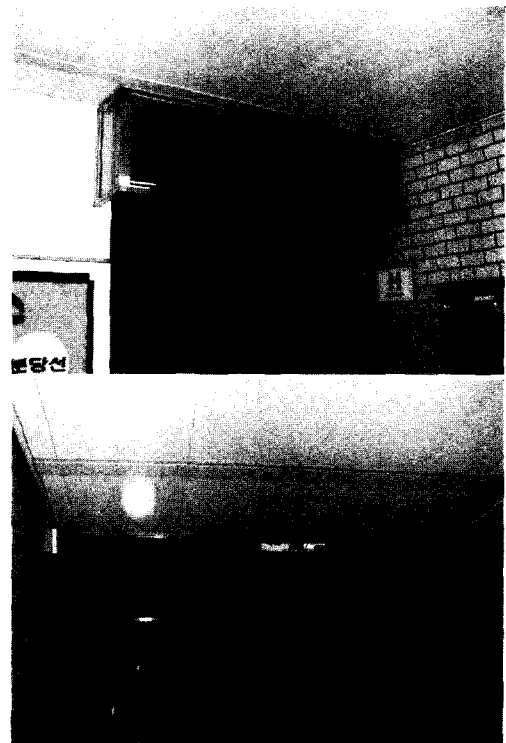


Fig. 11. 수도권 지하철 역사 수직개구부에 설치된 제연경계벽.

5. 제연경계벽의 현장적용사례

수도권 지역의 지하철 역사는 대구 지하철사고후 많은 분석과 연구자료를 기반으로 지하역사의 승강장과 대합실을 연결하는 계단(수직개구부) 사이에 연기제어를 위한 제연경계벽을 설치하고자 하였고, 이를 수용하여 한정된 일부 지하철 역사에 한하여 설치(Fig. 11)하였다.

6. 결 론

지하철 역사의 층간 개구부상 제연경계벽 설치에 따른 위험성평가를 위하여 화재모델링을 이용한 연기의 유동 및 층간 연기전파속도를 분석한 결과, 수직개구부(계단)상에 제연경계벽을 설치하는 것이 매우 효과적이며 화재초기의 피난여유시간을 확보함으로써 인명피해를 줄일 수 있을 것으로 예상되며, 기존의 지하철 역사 승강장에 설치된 제연설비가 제연용량이 부족하고 노후화로 인한 그 기능의 효과가 불확실하지 못한 점 등을 고려하여 수직개구부상에 제연경계벽을 활용한다면 축연성능효과에 따른 피난시간의 여유를 확보하고 제연설비의 가동시 상부층으로의 연기전파를 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 이러한 연구결과와 분석 등의 논의를 통하여 수도권 지하철 역사의 일부에 수직개구부상 제연경계벽을 설치하고 이를 통한 검증 및 효과를 분석하고 있다.

그러나 각 역사만의 형태와 공기흐름, 공조 및 제연설비의 기능, 역사내의 수직계단 등의 상관관계를 고려한 제연경계벽의 설계는 필수적으로 이루어져야 한다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국대학교육협의회 대학교수 국내교류연구비 및 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. J. H. Klote and J. A. Milke, Design of Smoke Management System, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA(1992).
2. E. G. Butcher and A. C. Parnell, "Smoke Control in Fire Design", U.K.
3. S. D. Miles and S. Kumar, "Technical Description of JASMINE", BRE, U.K.
4. 허준호, 노삼규 외 2명, "지하철 역사 승강장의 제연경계벽 효용성 연구", 한국화재소방학회 추계학술대회논문(2003).
5. 노삼규 외 2인, "지하철역사의 성능기준 화재안전설계 적용", 제2차 PBD 포럼(2003).
6. 건설교통부, "도시철도시스템의 안전·방재능력향상방안 연구"(2003).
7. 건설교통부, "장대 철도터널 화염방재 기술 및 환기공조 시스템 개발"(2002).
8. 대한설비공학회, "대구지하철설비관련 기술토론회", (2003).
9. 한국소방기술사회, "지하철 화재안전성능을 위한 전문가 포럼"(2003).
10. 한국철도기술연구원, "도시철도 안전·방재 개선방안 수립을 위한 공청회"(2003).
11. 행정자치부, "국가화재안전기준"(2004).