

스크린도어가 설치된 지하철 승강장의 화재유동 전산 수치 모사를 이용한 스크린도어의 화재 영향 연구

Effect of Platform Screen Door on fire in the subway station

장용준** · 김학범* · 정우성** · 박원희**

Jang, Yong-Jun · Kim, Hag-Beom · Jung, Woo-Sung · Park, Won-Hee

Key Words: Platform Screen Door (PSD : 스크린도어), Smoke, Fire Source (화원), 화재규모, 화재성장모드, 온도분포

ABSTRACT

The present study is a basic investigation for systematically proceeding disaster prevention studying the effect of platform screen door in case of fire at the subway station. In the paper, the characteristics of screen door were surveyed and described. The fully closed platform screen door and the island type of subway station were employed for simulation-study. Numerical simulations of fire driven flow at the subway station with platform screen door were performed with commercial fire CFD code. For analyzing of the effect of platform screen door, the fire simulations with and without the platform screen door were compared. For the fire location, the one is located on the platform and the other case on the railway. The Ultrafast model was taken as fire growth scenario. The maximum heat release rate was 10MW. The propagated time of the heat and smoke to stairs was within 4 minute when the fire is located on the platform. However the heat and smoke propagation was block off by screen door when the fire is located on the railway.

국문요약

본 연구는 플랫폼 스크린도어가 설치된 역사에서 화재시 스크린도어에 의한 효과와 화재에 대한 방재연구를 체계적으로 진행하기 위한 기초연구이다. 본문에는 스크린 도어의 종류와 특징에 대하여 기술하였다. 본 연구의 대상이 되는 스크린 도어에는 완전밀폐형이 설치된 역사를 대상으로 하였으며 승강장 종류는 섬식 승강장이다. 스크린 도어가 설치된 역사의 화재유동 전산수치모사에 화재전용 CFD code를 이용하여 수행하였다. 플랫폼 스크린도어의 영향을 분석하기 위하여 스크린도어가 설치된 경우와 설치되지 않은 경우를 해석 하였다. 또한 화원의 위치는 승강장과 선로부에 있는 경우로 나누었다. 화원의 성장시나리오는 Ultrafast model로 하였으며, 화원크기는 10MW로 하였다. 해석결과 플랫폼 스크린도어가 설치된 경우는 화원의 위치가 승강장에 있을 때 온도 및 연기의 전파가 주 탈출구인 계단에까지 4분 이내로 전파된다. 선로부에 있을 때는 스크린 도어에 의해 열, 연기 전파의 차단 효과가 있었다.

E-mail : kimhb31@krii.re.kr

Tel : (031) 460-5676 FAX : (031) 460-5319

* 책임저자, 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀

** 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀

1. 서론

스크린 도어(Platform Screen Door : 이하 명칭 PSD)는 표.1에서 보는 바와 같이 승강장 연단에 설치되는 고정벽과 슬라이딩도어를 고정시키는 구조물, 슬라이딩 도어, 구동장치, 안전장치로 구성되어 있다. PSD종류는 완전밀폐형, 반밀폐형, 난간형식으로 구분한다[표.2]. 난간형 PSD는 승강장에서의 승객의 안전을 목적으로 한 것으로 차량의 문위치에 맞추어 개구부가 있는 것과 가동문이 있는 것이 있다. 지상승강장에도 설치가 가능한 형식이다. 반 밀폐형 PSD는 고정벽 및 도어의 상부에 개구부 또는 갤러리를 설치하는 구조로, 자연환기가 가능하므로 고가역 등 지상/지하 승강장에 설치가 가능한 형식이다. 완전 밀폐형 PSD는 승강장과 선로부를 완전히 분리하는 구조이다. 지하승강장에 설치가 가능한 형식이다.

PSD의 주요 설치목적은 승강장과 선로부를 차단함으로써 승객의 안전을 증진할 수 있으며, 차단으로 인한 열차 또는 전철 운행에 따른 선로부에서 유입되는 불쾌한 열차풍과 먼지를 감소시키고 이로 인한 공조효율을 증대 시키고 소음차단효과까지 있으므로 승강장내부 이용승객의 쾌적성을 향상시키는 것이다. 또한 PSD는 차량의 출입문과 연동하여 개폐되므로 반/완전 밀폐형 타입의 경우 비상시에는 승강장 내외를 확인할 수 있는 유리로 구성되어 있으며, 수동개폐가 가능하고, 비상문등이 추가로 배치 설치되어있는 안전설비이다.

이처럼 다양한 잇점으로 PSD의 설치는 갈수록 확대되고 있다.[7, 8] 또한 승강장 PSD와 관련된 법규도 제정됨으로써 PSD의 품질시험기준 및 설치에 대한 타당성도 부여받고 있다.[1~6] 이러한 PSD의 국내설치 추세에 맞추어 PSD에 관련된 연구가 진행되고 있는데, 연구의 주류는 열차풍 방지, 반 밀폐공간에서의 고온의 기류 방지나 냉난방 연구등의 쾌적성관련분야나, PSD의 구조강도의 관점에서 이루어 졌다[7 ~ 20].

그러나 철도 역사에서 화재가 발생한 경우 PSD가 제연 및 피난등의 시스템에 영향을 미치고 있으나 이에 대한 국내의 연구 사례는 다양하지가 않다. Rie의 [21, 22]의 연구에서는 상대식 승강장의 PSD가 설치되었을 때와 설치가 되지 않았을 때 PSD에 의한 열기류의 차단효과를 해석으로 검증하였다.

본 연구에서는 기초연구 단계로서, 기존 PSD 설계 사양 및 기준을 검토하고, 화재의 관점에서 PSD의 설치유무에 따른 전산해석을 수행하여 PSD의 영향을 파악하는 것이며, 향후 연구의 궁극적 목표는 화재에 대한 PSD의 종합적인 방재설계요건을 제시하는데 있다. 본연구에 사용된 코드는 SMARTFIRE V4.0을 사용하였다.

표.1 PSD의 구성

PSD구성	내 용
고정벽	각 설계하중을 고려한 구조로 사시와 투명 강화유리로 구성
출입문	각 설계하중을 고려한 구조로 두 개의 슬라이딩 도어세트로 구성 고정벽과 마찬가지로 투명 강화유리로 구성됨
구동장치	출입문 구동의 위한 장치로 제어반으로부터 신호를 통해 자동 개폐
안전장치	승객의 승/하차시 승객이나 물건이 스크린도어 출입문에 끼여 열차 운전대나 역무실에 이상표시, 경보가 발생할 경우 안전장치에 의해 스크린도어 출입문이 재개폐되는 동작이 될 수 있는 구조

2. 본론

2.1 해석대상 선정

PSD의 효과에 의한 화재 열기류 및 연기층의 거동을 파악하기 위하여 반 밀폐형 타입보다는 완전 밀폐형 타입으로 하였으며, 마찬가지로 화재에 의한 유체거동의 해석 시 밀폐에 의한 효과가 크게 나타날 것으로 예상되는 승강장을 선정하였다. 따라서 국내 승강장 중 길이 방향으로 짧아 밀폐도가 높으면서, 완전 밀폐형 PSD가 설치된 광주 지하철 1호선 금남로 4가역을 선정하였다.[그림.1 - 3] 설치된 PSD의 제원은 표.3와 같다.

표.2 PSD 형식별 특징

자료 : [8~10]

구 분	난간형	반밀폐형	완전밀폐형
사 진	 일본	 일본	 한국 광주
목 적	<ul style="list-style-type: none"> 이용승객 안전확보 열차 진출입시 승무원 감시업무 경감 	<ul style="list-style-type: none"> 이용승객 안전확보 열차 진출입시 승무원의 감시업무 경감 열차풍의 일부차단 	<ul style="list-style-type: none"> 이용승객의 안전확보 열차 진출입시 감시업무무경감 공조효율향상과 열차풍 차단
장 점	<ul style="list-style-type: none"> 초기 투자비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> 열차주행 소음 및 기계적인 환기 소음 일부차단 	<ul style="list-style-type: none"> 열차주행 소음 및 기계적인 환기 소음 차단 승강장의 공기질 및 쾌적성 향상
단 점	<ul style="list-style-type: none"> 열차주행 소음 및 기계적인 환기 소음 차단불가 	<ul style="list-style-type: none"> 초기 투자비 증대 유지관리 비용증대 열차주행소음 및 기계적인 환기 소음 일부차단 	<ul style="list-style-type: none"> 초기 투자비 증대 유지관리 비용 증대
설치 장소	<ul style="list-style-type: none"> 지상/지하 	<ul style="list-style-type: none"> 지상/지하 	<ul style="list-style-type: none"> 지하

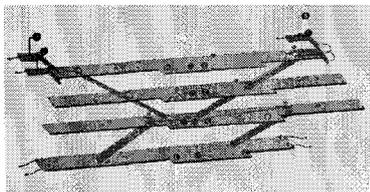


그림.1 금남로4가 역사 개념도

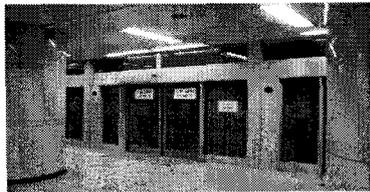


그림.2 금남로4가 스크린도어

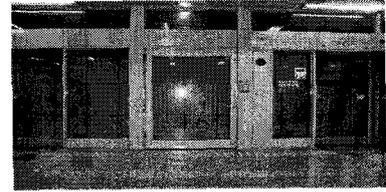


그림.3 금남로 4가 비상문

광주 지하철은 최대 8량을 1편성으로 운행할 수 있도록 설계되어 있으나, 현재는 4량 1편성으로 운행되고 있다. 본 연구의 모델이 되는 금남로4가의 지하4층 승강장은 섬식 승강장이며, 길이 150.m, 높이 5.9m, 폭 22.9m 규모이다. PSD의 규모는 차량의 편성에 맞게, 슬라이딩 도어 32set (16set × 2 : 1량 4set door)의 PSD가 지하철과 연동하여 운행되고 있으며, 슬라이딩 도어 4set당 1set의 비상문(수동개폐)이 설치되어 있다. 16set(8set × 2) 슬라이딩 도어는 설치되어 있으나 운행되지 않고 있다.

표.3 광주 PSD 제원

항 목	내 용
형 식	<ul style="list-style-type: none"> 완전밀폐형 벨트구동방식
수 량	<ul style="list-style-type: none"> 128SET : 도청역, 금남로4가역
재 질	<ul style="list-style-type: none"> 스테인레스 스틸(STS304), 강화유리
도어개구부	<ul style="list-style-type: none"> 2000mm(W) × 2100mm(H)
안전장치	<ul style="list-style-type: none"> Optical Sensor : 차량 Door와 Screen Door간의 지장물 감지 Touch Sensor : Screen Door간의 지장물 감지
개폐조작	<ul style="list-style-type: none"> 연동조작 : 운행관리 System 및 ATO 장치와의 연동에 의해 완전자동제어 또는 ATO 장치와 승무원의 열차 Door개폐조작에 연동된 자동제어 수동조작 : 긴급시, 보수시, 고장시에 역무원, 승객, 승무원의 수동조작으로 개별 또는 일괄조작
제 작 사	<ul style="list-style-type: none"> 현대엘리베이터(주)-일본 NABCO사 기술제휴

2.2 지배방정식 및 수치 모델

코드 SMARTFIRE 에서 적용되는 지배방정식(Governing Equation)은 다음과 같다.

$$\text{-질량보존방정식} \quad : \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad \text{식-1}$$

$$\text{-중보존 방정식} \quad : \quad \frac{\partial(\rho f)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j f) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_f \nabla(f)) + S_f \quad \text{식-2}$$

$$\text{-운동량보존 방정식} \quad : \quad \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \{ \mu_{eff} \nabla u_i \} + S_{u_i} \quad \text{식-3}$$

- 에너지보존 방정식 :
$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{k}{c_p} + \frac{\rho \nu_t}{\sigma_T} \right) \nabla(h) \right) + S_h$$
 식-4

- 상태 방정식 :
$$P = \rho R T$$
 식-5

여기서 ρ : 밀도, u_j : 속도(j,속도성분), f :각 종의 스칼라 량(scalar quantity), P :압력, ∇ : 구배, h : 엔탈피, S : Source, μ_{eff} : 상당점성계수(effective viscosity), ν_t : 난류 동점성계수(turbulent kinematic viscosity) 등을 말한다.

SMARTFIRE에서는 난류 모델에는 Buoyancy modified two-equation(κ - ϵ) turbulence model을 적용하였다. 또한 SMARTFIRE에서 사용하는 복사 모델은 Radiosity, Six Flux Radiation, Multi Ray Radiation Model의 세 종류가 있는데 본 연구에서는 Six Flux Radiation 모델을 사용하였다. 연소모델은 SMARTFIRE내에 있는 Diffusion controlled 모델을 사용하였고 연료는 메탄으로 하였다.

2.3 화재 시나리오 및 경계조건

화재 규모는 화재 성장률에 따른 발열량은 몇몇 식들이 제시되고 있으나 가장 널리 알려진 식은 NFPA에서 규정하고 있는 화원의 발열량이 시간의 제곱에 비례하는 t^2 시간에 대한 함수로 표현된다.

$$\dot{Q} = a \cdot t^2 \quad \text{식-6}$$

여기서 \dot{Q} 은 발열량[W], t 는 화재 성장의 특성시간 [sec]을 나타내고, a 는 비례상수로 화원의 발열량이 1MW에 도달하는 특성시간에 따라 결정된다. NFPA 규정에서는 화재 성장에 관한 특성시간에 따라 $t=75s$ 일때는 Ultrafast, $t=150s$ Fast, $t=300s$ Medium, $t=600s$ Slow로 4가지 형태의 화재 성장모드를 제시하고 있다. 따라서 식-6으로부터 a 값을 구할 수 있다. 그리고 재료에 대한 a 값은 실험 자료로부터 구할 수는 있지만 화재에서는 다양한 가연물이 존재함을 고려할 때, 각각의 재료에 대한 a 값 적용은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 실험한 결과를 종합하여 최대 열방출률을 정의하여 사용하고 있다.

장희철 외[25] 연구에서는 10분경과 후 최대 열방출률을 12MW로 규정하였는데, 화원의 형상은 승강장 내부에 있는 일본지하철 매점크기($x=2.2m$, $y=3.0m$)를 사용하였다. 이동호 외[23] 연구에서는

10MW, 20MW, 30MW규모로 화재 강도를 주고 이에 따라 승강장 내부의 온도를 분석 연구하였다. 본 연구에서는 화재 성장모드를 Ultrafast로 적용하였다. 최대 열방출율은 10MW이며, 10MW에 도달하는 시간은 약 237초가 걸리고 이때 a 값은 0.1778이다. 최대 발열량(10MW)이 지속되는 것으로 가정하였다. 그림 4는 Ultrafast 화재 성장모드에 따른 화재 성장률 곡선과 본 해석에서 적용된 발열량 값을 그래프로 나타내고 있다.

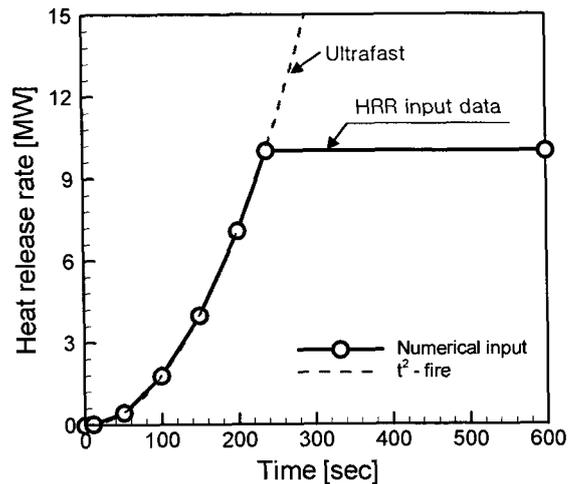


그림.4 화재해석에 적용된 Ultrafast 성장모드

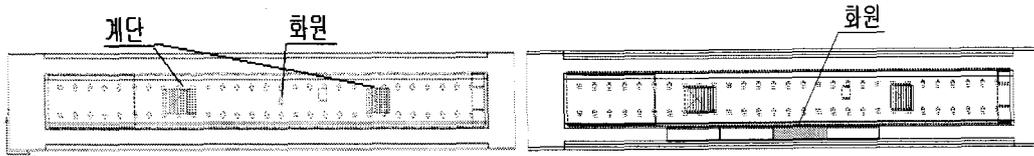
2.4 해석의 CASE 및 격자

표.4는 각 CASE별 해석내용을 나타낸 것이다. 그림.5는 각 CASE별 화원의 위치를 나타낸 것으로 CASE 1과 2는 승강장 내부에 화원이 있을 때를 나타낸 것이고, CASE 3, 4는 두번째 객차를 화원으로

표.4 CASE별 해석 내용

항 목	내 용
CASE 1	PSD 설치된 금남로4가역 승강장내부에서의 화재
CASE 2	PSD 미설치된 금남로4가역 승강장내부에서의 화재
CASE 3	PSD 설치된 금남로4가역 선로부에서의 화재
CASE 4	PSD 미설치된 금남로4가역 선로부에서의 화재

두었을 때를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 순수 PSD의한 밀폐효과를 보기 위하여 유리는 열에 의해 전소되지 않는다고 가정하였으며, 배연, 배기팬은 동작하지 않은 조건으로 하였다. 그림.5의 화원의 형상은 가로 세로 각1.2m로 주었고 위치는 승강장 끝단을 기준으로 x 방향으로 80m에, z 방향으로 정중앙에 위치하고 있으며 선로부의 경우는 승강장 끝단을 기준으로 x 방향으로 70m에 있으며 객차 1량 전체가 전소되는 것으로 가정하였다. 그림.6과 7은 모델링한 승강장 내부 모습 및 격자의 배치 모습이다. 모든 CASE가 40만개 규모로 육면체(Hexahedral mesh)격자를 사용하였다.



(a) CASE 1 ~ 2 (b) CASE 3 ~ 4
그림.5 각 CASE별 화원의 위치

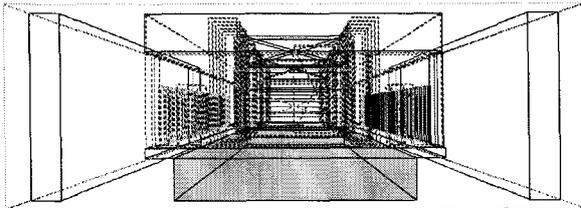


그림.6 승강장의 해석 모델링한 내부 모습

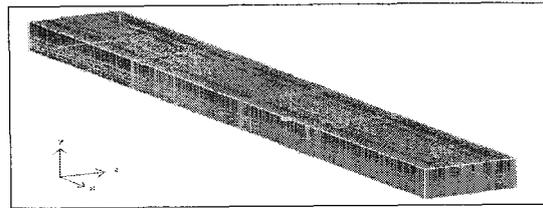


그림.7 격자의 배치모습

2.5 해석결과

화재 발생 후 시간 경과에 따른 온도분포를 그림.8 ~그림.11에서 비교하였다. 승강장 내부에 화원이 있을 경우 그림.8과 9에서 보는 바와 같이 PSD가 설치된 경우가 PSD가 설치되지 않은 경우 보다 온도의 전파가 빠르다. 이는 PSD로 인하여 고온의 기류가 확산 및 전파되어 빠져나올 수 있는 공간이 주 대피로인 계단밖에 없기 때문이다. 반면 PSD가 없는 경우는 고온의 기류가 선로부로 확산되기 때문에 그 만큼 승객의 탈출경로로 확산되지 않음을 알 수 있다. 그림.8과 9에서 보면 PSD에 차단된 경우 승강장 내부에 고온의 분포가 3분 정도에서 승강장 내부 전체에 분포하므로 현행 “도시철도 정거장 및 환승편의시설 보완 설계 지침”[1]에 규정된 4분이내 승강장 내부의 대피 시간은 불가능함을 확인 할 수 있다. 반면에 PSD가 없는 경우 5분이 경과하여도 주 대피로인 계단까지 안되므로, 탈출경로를 확보할 수 있다. 그림.10과 그림.11은 선로부에서 화재가 발생한 경우를 예측한 결과로서 이 경우 PSD가 있는 경우 승강장 내부는 고온의 열기가 차단되므로 승강장 내부의 승객이 대피를 할 수 있다. 그러나 지하철 객차의 승객은 PSD가 개폐되지 않으면 대피의 어려움이 발생하게 된다. 그림.11은 PSD가 설치되어 있지 않을 경우 고온의 기류가 승강장 내부로 확산되는 것을 볼 수 있다. 그림.12는 300초에서 CASE별 연기분포를 나타낸 것으로 온도분포와 마찬가지로 PSD의 영향이 있음을 확인 할 수 있다.

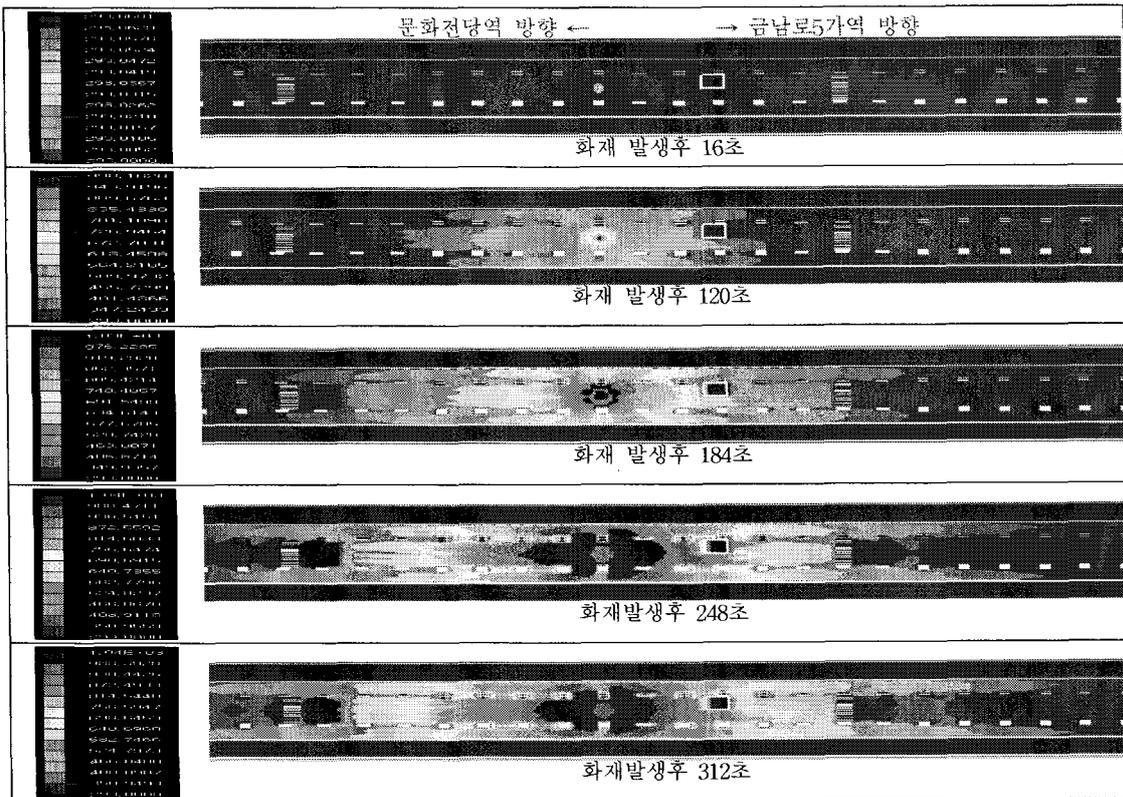


그림. 8 CASE 1 : 시간 경과별 온도분포 (Y=4.65m)

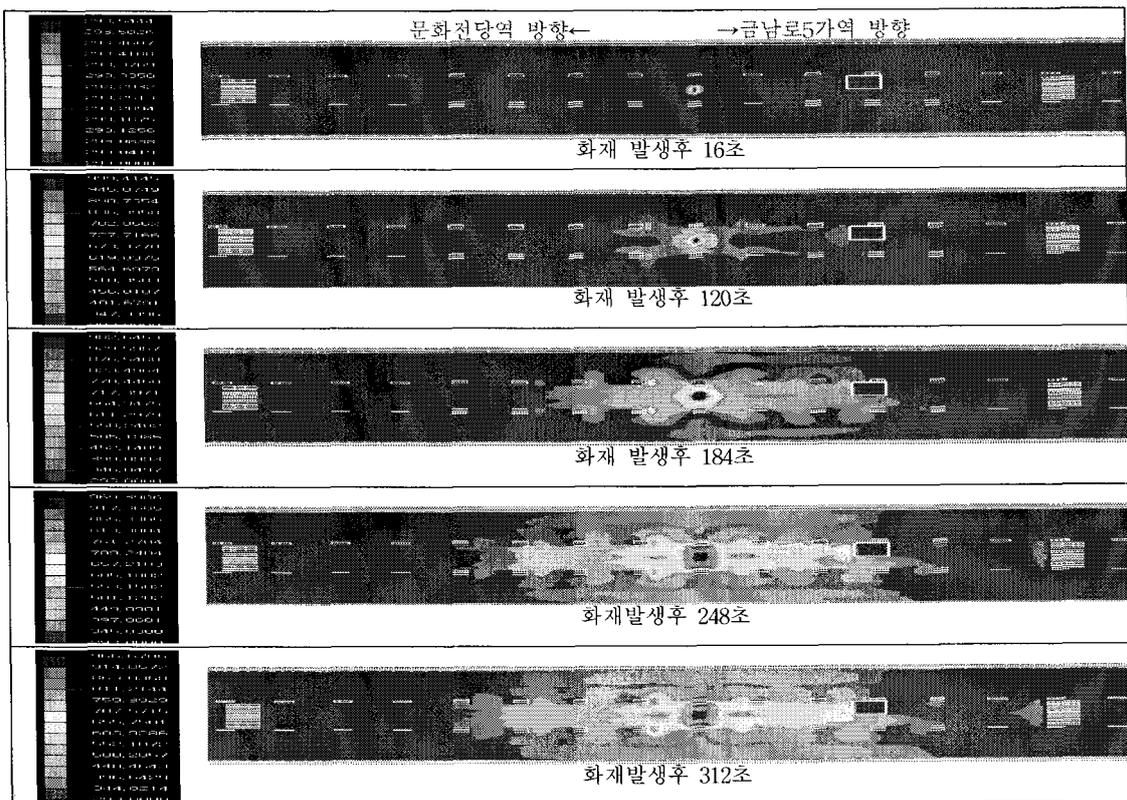


그림.9 CASE 2 : 시간 경과별 온도분포 (Y=4.65m)

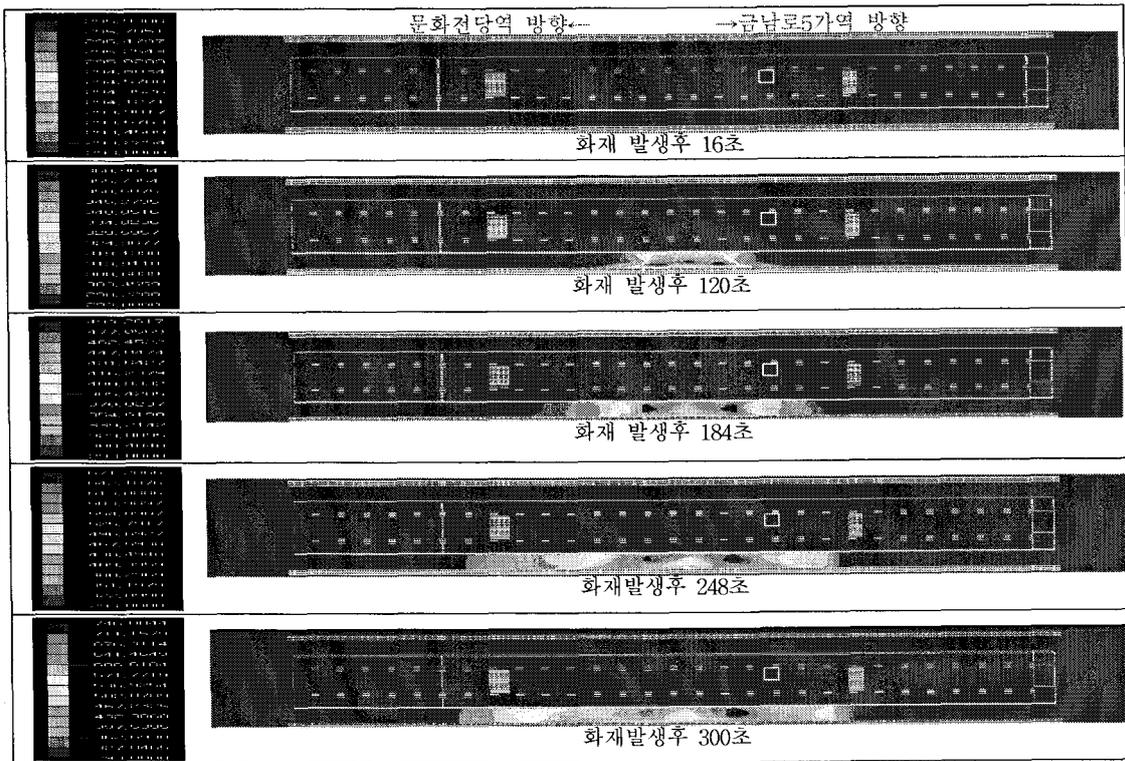


그림.10 CASE 3 : 시간 경과별 온도분포 (Y=4.65m)

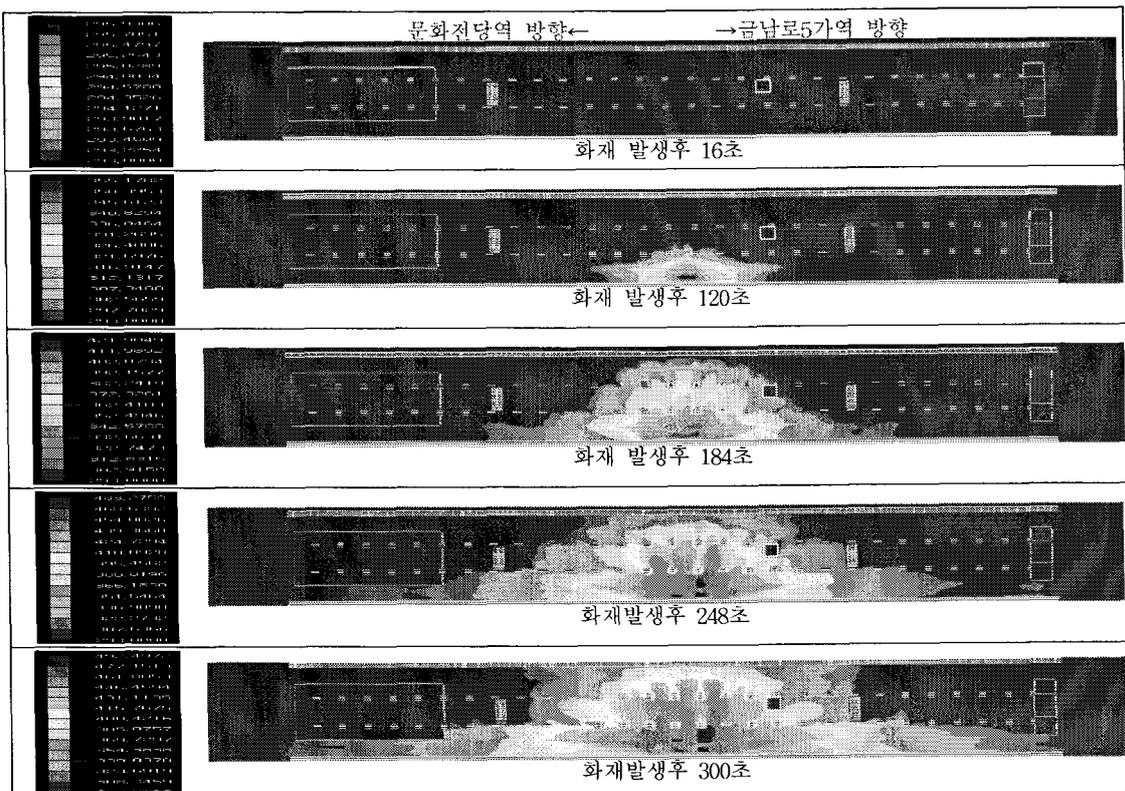


그림.11 CASE 4 : 시간 경과별 온도분포 (Y=4.65m)

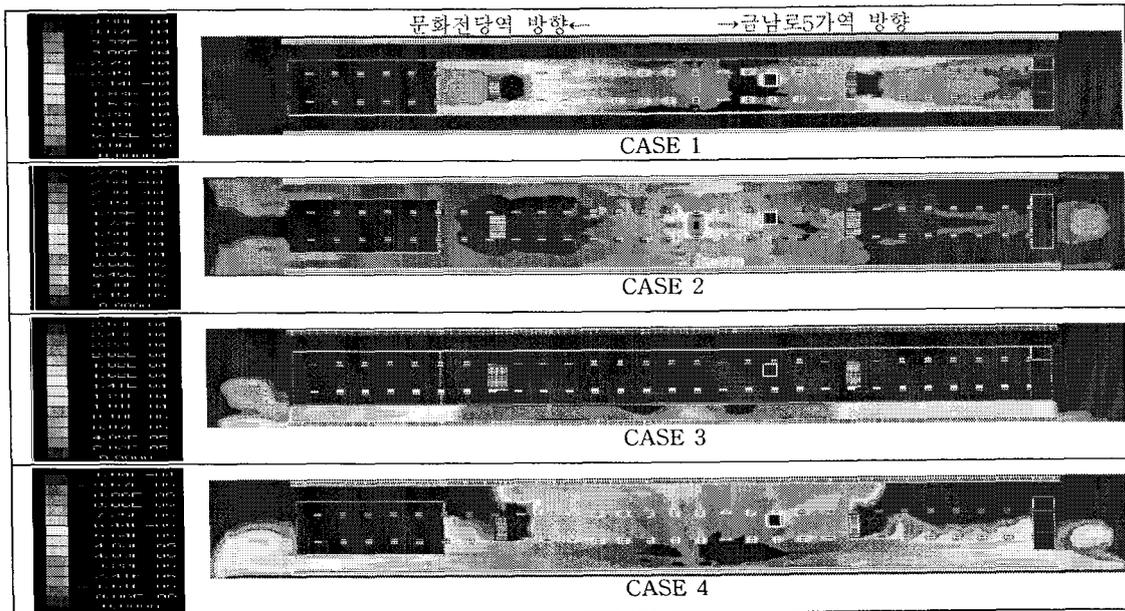


그림.12 CASE 별 연기분포 (Y=4.65m, 300초)

3. 결론

본 연구에서는 화재 발생시 PSD의 효과에 대하여 검토하였다. PSD 유무에 따른 화재 전파의 특성을 보고 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 화원이 승강장 내부에 있는 경우 PSD가 있는 경우 주 대피통로인 계단에 도달하는 시간이 짧으며, PSD가 없는 경우 계단에 도달하는 시간이 고온의 기류가 선로부로 이동하면서 주 탈출경로인 계단으로는 느리게 전파하였다.
- 화원이 승강장 내부에 있는 경우 스크린도어는 승강장내부에서 화재가 발생할 시 스크린도어가 닫혀 있으면 승객이 대피할 수 있는 시간이 줄게 된다.
- 화원이 선로부의 객차이고, PSD가 개방되지 않았을 때 승강장 내부는 PSD에 의해 열기가 차단되므로 상대적으로 안전하나, 객차의 승객은 위험하다.
- 본 연구 내용으로부터 승강장 내부에서 화재 발생시 PSD는 개방 되어야 승강장의 승객이 대피시간을 확보된다. 이는 PSD의 방재요건으로 화원의 위치에 따라 PSD의 개폐 제어가 되어야 함을 의미한다.
- 본 연구에서는 순수 PSD만의 영향을 살펴보았으며 향후에는 급배기 및 제연/배연 시설과 PSD와의 연동 및 PSD가 열에 의한 전소(BREAKDOWN) 여부 등 다양한 인자에 대한 종합적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. “도시철도 정거장 및 환승 편의시설 보완설계 지침” 건교부 고시 2002년 11월
2. “승강장 스크린도어 시스템에 대한 품질시험기준”, 건설교통부 고시 제2004-136호, 2004년 6월,

3. “도시철도 규칙” 건설교통부령 412호, 2004년 12월 개정
4. “교통약자의 이동편의증진법”, “교통약자의 이동증진법 시행령”, “교통약자의 이동편의증진법 시행규칙”
5. “장애물 없는 생활환경(Barrier Free)인증제도 시행지침” 건설교통부 고시 제2007 1호
6. “철도시설 안전기준에 관한 규칙” 건설교통부령 제476호
7. “2001 광역전철 승강장 스크린도어 제작·설치 및 운영 사업자 공모(선릉 등 10개역 광역전철 승강장 스크린도어 제작·설치 및 운영사업)”, 철도공사
8. 장병선(2003), “지하철 승강장에 스크린도어 도입배경 및 국내현황”, 설비저널 제32권 제9호, 9월호
9. 김상운, 성기창, 강병근(2004), “지하철 역사 승강장의 스크린 도어 도입에 관한 연구”, 한국의료복지시설학회, 10권 2호, , pp51-58
10. 김정엽(2005), “도시철도 스크린도어 구조설계를 위한 수평하중 산정방안연구”, 대한설비 공학회 하계학술발표대회 논문집 pp. 855-959
11. 김정엽, 김광용(2006), “스크린 도어가 설치된 지하철에서 열차운행에 의한 비정상유동의 실험 및 수치적 해석”, 설비공학논문집 제18권 제2호 pp 103-111,
12. 김정엽, 신현준, 유지오(2004), “스크린도어가 설치된 지하터널의 터널유동 축소모형실험”, 대한설비 공학회, 동계학술발표대회 논문집 p.36
13. 김정엽외 8명(2004), “도시철도 환경개선 및 방재를 위한 스크린도어 시스템 최적설계기술 개발”, 한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부
14. 이재열, 신광복, 류봉조, 김동현, 이은규(2006), “열차 진입시 풍압에 의한 완전 밀폐형 승강장 스크린도어(PSD)시스템의 구조 안전성 평가”, 한국철도학회 논문집 제9권 제5호 , PP 594~600,
15. 최원준, 조종두, 김명두, 김정엽, 조기철, “플랫폼 스크린도어와 스크린도어 시험장치의 유한요소해석을 통한 구조적 안전성 검토”
16. (주)삼보기술단 김효규, “완전밀폐형 PSD의 설치여부에 따른 도시철도 시스템의 환기 연구”, 한국철도기술연구원 해외철도기술동향
17. 황철홍, 유병훈, 이창연, 금성민, 김정엽, 신현준(2005), “자연 및 강제 배기시의 터널 내 연기거동에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회 논문집 B권, 제29권 제6호, PP711~721,
18. 이종성, 민영기, 김경식, 최종목, “철도차량시스템과 PSD간 인터페이스 방안 및 적용 현황”
19. 공민식, “스크린 도어의 유용성에 의견이 갈라진 철도산업”
20. 온정근, 권기진, 최영하, 심재복 “승강장 스크린도어용 구동모터의 온도특성에 관한 연구”, 한국철도학회,
21. 김정엽, 신현준, 유지오(2004) “스크린도어가 설치된 지하터널의 터널유동 축소모형실험”, 대한설비공학회, 동계학술발표대회 논문집 p.36
22. 이동호, “지하철 역사의 공기질 개선을 위한 최적 환기 방식에 관한 연구”, 인천지역환경기술개발센터,
23. 이동호, 권용일, 김종원, 조정훈(2001), “지하철 스크린도어 설치 시 화재 강도에 따른 승강장 열 환경해석”, 한국산업안전학회:학술대회지, 공동학술대회, pp.73-78
24. Dong-Ho Rie, Sung-Wook Yoon, Jae-Woong Ko & Keun-Oh Lee(2005), “Study on Disaster Prevention in Case of Fire at Subway Platform with Platform Screen Door”, ASIA PACIFIC SYMPOSIUM ON SAFETY, PP 921-927.
25. 장희철, 윤경범, 김태국, 박원희(2005), “자연풍 및 배기운전조건이 섬식 지하역사 승강장 위의 화재에 미치는 영향”, 중앙대학교 기술과학연구소 논문집, pp.37-48
26. J,EWER, F. JIA, A, GRANDISON, E. GALEA, M.PATEL, “SMARTFIRE V4.0 USER GUIDE FOR THE SMARTFIRE ENVIRONMENT”, SEP., 2004
27. J,EWER, F. JIA, A, GRANDISON, E. GALEA, M.PATEL, “SMARTFIRE V4.0 USER GUIDE AND TECHNICAL MANUAL SMARTFIRE TUTORIAL”, AUG., 2004
28. J,EWER, F. JIA, A, GRANDISON, E. GALEA, M.PATEL, “SMARTFIRE V4.0 USER GUIDE FOR THE SMARTFIRE ENVIRONMENT”, AUG., 2004