

# 지하철 스크린도어 설치 시 화재 강도에 따른 승강장 열 환경 해석

이동호 · 권용일\* · 김종원 · 조정훈

인천대학교 안전공학과 · \*신홍대학 건축설비과

## 1. 서 론

현재 많은 나라에서 지하철 역사에 승강장 스크린 도어(Platform Screen Door)를 설치하여 열차진입에 따른 승강장부의 공조환경 개선 및 승객의 안전을 확보하고자 하고 있다. 한국에서도 서울 지하철 9호선을 비롯하여 각 도시에서 PSD를 지하철 승강장부에 설치하는 노력이 시도되고 있으나, 이에 대한 검증은 전무한 실정이다. 한국에서의 지하철 이용 분담율은 30%정도이며, 향후 약 50%까지 이를 것으로 예상되며, 이에 따라 PSD설비는 증가할 것으로 전망된다. 따라서 PSD 설치에 대한 지하철역사 환기 및 화재시의 배연설비에 대한 연구의 필요성은 날로 높아지고 있는 실정이다.

본 연구는 승강장화재시의 열 및 배연특성을 규명하고자 Phoenics 프로그램을 사용하여 수행하였다. 일반 승강장 환기 시 스크린도어 유무에 따른 승강장내의 배연 및 열환경 최적조건을 얻기위하여 20MW화재를 대상으로 승강장 급배기 방식별 배연특성에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 화재강도값의 차이에 대한 환기방식의 적용 가능성을 검토하기 위하여 10MW, 30MW로 변화시켜 화재시의 특성에 대해 비교하였다.

## 2. 지배방정식 및 경계조건

### 2.1 지배방정식

화재로 인하여 발생하는 오염물질의 전파거동에 대해 해석하기 위해 아래와 같은 식 즉, 연속방정식, 운동량방정식, 엔탈피, 혼합분율(mixture fraction) 및 연료질량분율(mass fraction of fuel)방정식이 사용되었다. 본 해석에서는 복잡한 화재시의 해석을 단순화하기 위하여 유동을 3차원 정상상태로 가정하였고 점성소산은 무시하여 실시하였다. 또한 공간내의 해석구간의 유체는 비압축성 유체로 고려하였으며, 복사열전달은 무시하였다.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i u_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x_j} [\rho \overline{u_i u_j}] + \delta_{ij} \rho g \beta \Delta T \quad (2)$$

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

$$\mu_t = C_u \frac{\rho k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

## 2.2 난류방정식

난류유동장을 해석하기 위해, 벽면부근에서 작은 차분간격을 요구하는 저레이놀즈수 모델(low Reynolds number model)을 적용하지 않고 벽면의 효과를 충분히 고려할 수 있는 벽 법칙을 이용하여 벽에서 가장 가까운 격자점에 대해 벽함수를 적용시켜 계산하였다. 그리고 standard k-ε 방정식이 사용되었다.

## 2.3 경계조건

시뮬레이션은 다음과 같은 조건을 모사하여 수행되었다.

1. 선로입구 단면적 : 21.0 (m<sup>2</sup>)
2. 화재크기 : 10MW, 20MW, 30MW
3. 차량 크기: 3.0m(W)×3.5m(H)×90m(L)인 직육면체.
4. 화염해석 선로길이: 200m
5. Grid 개수: 40 X 21 X 171, 전체: 143600 cell
6. 외부공기상태 : 온도= 300 K, 밀도=1.21 kg/m<sup>3</sup>, 비열=1100 J/kg K
7. 발화지점의 연료온도 : 700K
8. 디퓨저 : 급기 : 30 대 (0.5x0.5), 배기 : 10 대 (0.5x0.5)
9. 디퓨저 풍량 : 40500 CMH
10. 승객 발열량 : 32.3W/m<sup>2</sup>
11. 열차 발열량 : 상부-60.1W/m<sup>2</sup> 하부-952.9 W/m<sup>2</sup>

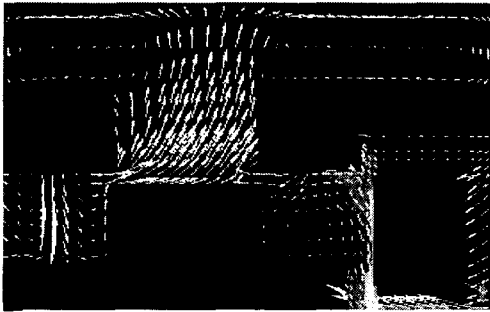
급기 디퓨저는 승강장 천장부에 설치되었으며, 배기 디퓨저는 계단이 위치한 지점에 설치되었다.

## 3. 3D 시뮬레이션 결과

### 3.1 일반 환기 시 스크린도어 유무에 따른 온도 분포

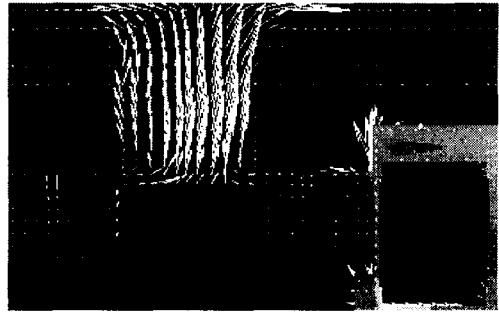
일반 환기 시를 기준으로 스크린 도어가 미 설치된 경우를 대상으로 얻어진 결과를

Fig.1과 2에 나타낸다. 계산결과 약 1.5m의 높이에서 최고온도 300.8K(27.8℃)가 나타났으며, 스크린도어가 설치되었을 경우에는 최고온도 305.3K(32.3℃)를 나타내고 있다. 또한 두 경우 마찬가지로 발생하는 기류는 계단부를 통하여 2층으로 유입되는 현상을 관찰할 수 있다.



352 341 329 317 305 293 (K)

fig. 1 PSD 설치 전



375 358 342 325 309 293 (K)

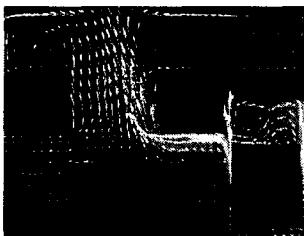
fig. 2 PSD 설치 후

### 3.2 화재 시 환기방식에 따른 온도 분포( PSD 미설치 )

화재 발생 시 열차가 있는 선로부를 따라서 화염이 전파되고 있으며, 승강장으로 여과 없이 고온의 오염물질 및 기류가 유입되는 현상을 파악할 수 있다. 전동차의 상부는 부력으로 인하여 고온의 오염물질이 지속적으로 존재한다.

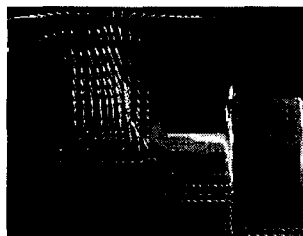
(a)는 하부 배기만 가동한 경우로서 승강장의 최고온도는 345K(72℃)이고 상부로의 상승기류 최고온도는 430.9K(157℃)로 나타났다..

(b)는 상부 배기만 가동한 경우로서 승강장의 최고온도는 342.3K(69.3℃)이고 상부로



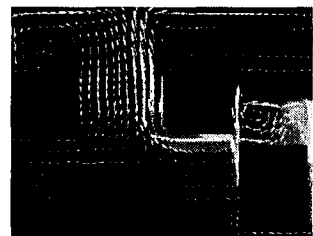
811 707 604 500 396 293 (K)

(a) 하부배기



765 671 576 482 387 293 (K)

(b)상부배기



783 685 587 489 391 293 (K)

(c)상하부 동시배기

fig. 3 20MW 화재 시 환기 방식에 따른 온도 및 기류 분포

의 상승 기류 최고온도는 412.5K(139.5℃)로 나타났다.

(c)는 상·하부배기를 동시에 가동한 경우로서 승강장의 최고온도는 337K(64℃)이고 상부의 상승기류 최고온도는 402K(129℃)로 나타났다.

세 가지 배연방식을 대상으로 상하부 동시 배기가 가장 낮은 온도분포를 나타내었다.

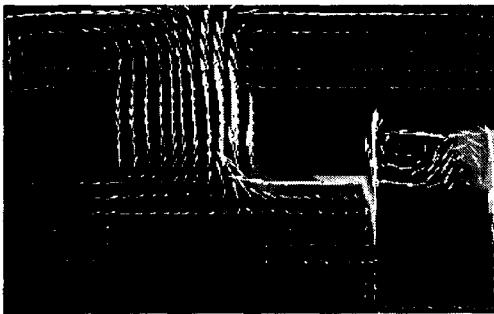
따라서 화재 발생 시 (c)의 배연방식으로 승강장 내로 유입되는 오염물질의 온도상승을 억제시킬 수 있는 것으로 나타났다.

### 3.3 화재 시 스크린도어 유무에 따른 온도 분포

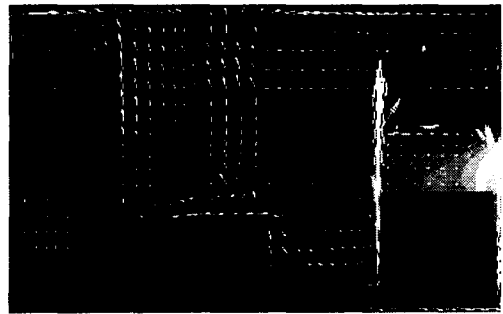
20MW 화재시 상하부 동시배기 방식을 하면서 스크린도어가 미 설치된 경우에는 약 1.5m 높이에서 최고온도 335K(62℃)를 나타냈다. 대피경로인 상층부로의 계단을 따라 상승하는 기류의 온도는 406.9K(133.9℃)의 비교적 높은 온도를 나타냈다.

스크린도어가 설치된 경우, 동일한 높이에서 최고온도는 305.7K(32.7℃)이며, 계단을 통과하는 상승기류의 온도는 317K(44℃)로 나타났다.

이는, 부력으로 인하여 상승되는 고온의 오염물질이 스크린도어에 의하여 승강장내부로 유입억제 됨을 의미한다.

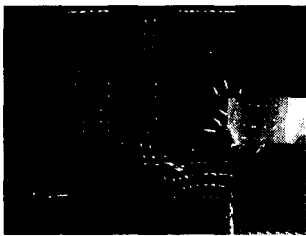


783 685 587 489 391 293 (K)  
fig. 6 PSD 설치 전( 발열량 : 20MW )



909 786 663 539 416 293 (K)  
fig. 7 PSD 설치 후( 발열량 : 20MW )

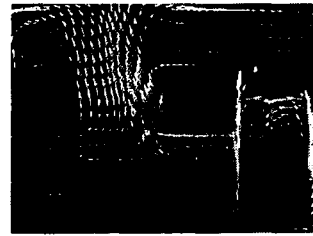
### 3.4 PSD 설치 시 화재 강도에 따른 온도 분포



(a)



(b)



(c)

fig. 8 화재 강도에 따른 온도 분포 및 기류분포

(a)의 경우에는 화재 강도가 10MW의 경우로서 승강장내에는 PSD를 통하여 영향을 주지 못하고 있으며, 계단부에서 공기가 스크린도어로 밀려나가 승강장내로 오염물질이 유입되지 못하고 있다.

(b)의 경우는 화재 강도가 20MW의 경우로서 화재가 PSD를 통하여 일부 유입되고 있으며, 승강장 내의 온도는 최고온도 305.7K(32.7℃)를 나타내며, 계단을 따라서 2층으로 상승하는 기류의 온도는 317K(44℃)를 나타내고 있다.

(c)의 경우는 화재 강도가 30MW의 경우로서 화재가 PSD를 통하여 유입되고 있으며, 승강장의 온도는 341K(68℃)를 나타내며 계단을 통과하는 상승류의 온도는 389.7K(116.7℃)로서 고온의 온도를 나타내고 있다. fig. 9는 화재 강도별 온도 변화를 나타내고 있다.

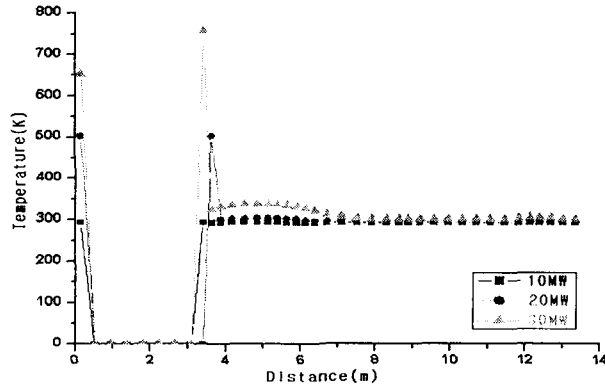


fig. 9 화재 강도에 따른 온도 분포

#### 4. 결론

환기방식별 승강장 온도변화 및 화재강도별 승강장 온도변화를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 스크린도어의 설치로 인하여 냉방 및 난방의 부하를 줄일 수 있다.
2. 상부배기, 하부배기, 상하부 동시 배기의 방식중 상하부 동시 배기 방식이 가장 효과적인 방식을 나타냈다.
3. 스크린도어 설치시 화재가 발생하였을 때 스크린도어로 인하여 많은 오염물질이 차단되어 승강장내의 온도가 낮은 온도로 유지되었다.
4. 화재강도 10MW,20MW 시에는 승강장의 승객들이 화재 중심부를 피해서 대피가 가능하지만 30MW시에는 최고온도341K(68℃)로서 승객들의 보다 빠른 대피가 요구되어지며, 기타 시설의 가동이 요구되어진다.
5. 화재 강도가 커질수록 열차 상부에 온도가 급격히 상승하므로 본선부 환기탑의 배기율을 높임으로서 승강장부의 고온가스를 신속히 배출시켜 승강장 내로 유입되는 고온의 오염가스 양을 줄일 수 있을 것으로 예상되며 이에 대한 연구가 요구됨.

#### 참고문헌

1. Jones, W.W., 1981, A review of compartment fire models, U.S. National Bureau of Standard, NBSIR 83--2884.
2. Kumar, S., 1983, Mathematical modelling of natural convection in fire a state of the art review of the field modelling of variable density turbulent flows, Fire & Materials, Voll, No1.
3. Kumar, S. and Cox. G., 1985, Mathematical modelling of fires in road tunnels, 5th international symposium on the aerodynamics & ventilation of vehicle tunnels, lille, france, 20-24, May.
4. Biollay, H and Chasse, P, 1995, Validating and Optimizing 2D and 3D computer simulations for the offenegg tunnel fire tests, 9th international symposium BHRA, pp. 357-382.
5. Jones, W. P. and Launder, B. E., 1972, The Prediction of Laminarization with a Two Equation Model of Turbulence, Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 15, pp. 301-314.
6. Blinov, V.I. and Khudiakov, G.N., 1957, On certain regularities on diffusion burning of liquids, Dokl Akad Nauk SSSR(in translation), 113, pp. 241-244.