

스크린 도어와 계단 통로 사이 압력 강하량에 따른 지하철 승강장 내부 열유동 특성

윤 정 배[†], 김 석 완
삼신설계 주식회사 삼신설비연구소

Heat and Fluid Flow Characteristics in Subway Station Platform with Consideration of Pressure Drop between Screen Doors and Stair Passages

Jung-Bae Yoon[†], Seok-Wan Kim

ABSTRACT: In the present study, the analysis on heat and fluid flow in subway station platform is carried out by considering the pressure drop between screen doors and stair passages. To investigate the effect on the characteristics of heat and fluid flow of pressure drop, Numerical simulation is applied. The present results show a better cooling condition, in the case of without pressure drop,

Key words: Screen door(스크린 도어), Pressure drop(압력 강하), Numerical simulation(수치 모사), Heat and fluid flow(열유동)

기 호 설 명

- U : 속도 [m/s]
- x : 거리 [m]
- t : 시간 [s]
- P : 압력 [Pa]
- k : 난류 운동 에너지 [m^2/s^2]
- w : Specific turbulence dissipation rate]
- θ : 온도 [K]
- ϕ : 점성소산 [K/s]
- g : 중력 가속도 [m/s^2]

그리스 문자

- ρ : 밀도
- v : 동점성 계수

하첨자

- ij : Tensor notation
- k : 난류 운동에너지
- t : 난류 점성 계수

1. 서론

날로 심각해지고 있는 도시교통난을 해소하고 도시의 균형적인 발전을 도모하기 위해서 대도시의 지하철 건설이 유용한 대안으로 제시되고 있다. 초창기의 지하철은 승객의 수송효율 향상에만 치중한 결과 승강장의 환경은 열악한 수준을 유지할 수밖에 없었다. 그러나 생활수준이 향상되고 국민의 의식수준이 선진화되면서 환경개선에 대한 욕구가 크게 증대하고 있어 이에 대한 대처방안을 확보할 필요가 있다.

승강장 환경개선 방법 중 하나인 승강장 스크린도어 설비(platform screen doors system)는 선로부와 승강부를 격리시키기 위하여 설치되는 고정벽, 출입문, 안전감시 및 개폐 작동에 필요한

[†]Corresponding author
Tel.: +82-2-578-5671; fax: +82-2-3461-0245
E-mail address: yoonjung@ssei.co.kr

설비를 말하고, 승강장에 스크린도어 설비를 하는 목적은 열차 통과 및 진입시에 승객이 선로부에 추락하는 것을 방지하여 승강장의 안전성 확보 및 열차풍과 소음의 영향을 감소시켜 냉방 부하 감소와 쾌적성 증대의 효과가 있다.

본 연구에서는 스크린 도어 설비가 설계되어있는 지하철 9호선 912,913 정거장에 대해, 승강장과 대합실로의 연결통로 사이 압력 조건에 따른 승강장 공조 특성을 연구하고자 한다. 연구 범위는 다음과 같다. (a) 승강장과 대합실로의 연결통로 사이에 압력차가 없는 경우, (b) 승강장과 대합실로의 연결 통로 사이에 압력차가 존재하며, 대합실로의 연결 통로에서 20 Pa 가압되는 경우, (c) 승강장과 대합실로의 연결 통로 사이에 압력차가 존재하며, 대합실로의 연결 통로에서 20 Pa 감압되는 경우. 상술한 각각의 경우에 대해 수치해석 방법을 사용한 열유동 해석을 하여, 스크린 도어 개방시 선로부의 열적 특성을 고려한 승강부의 열유동 특성을 연구하고자 한다.

2. 본 론

2.1 수치해석 방법

본 연구에서는 수치해석방법을 사용하여 지하철 9호선 912,913 정거장에서의 열유동 특성을 해석 하였다. 수치해석 방법으로는 이미 타당성을 검증받은 범용코드인 Fluent 6.1을 사용하였다. 대류항에 대해서는 고속과 저속유동에 동시에 사용가능한 대류도식인 2계 상류도식을 사용하였다. 속도와 압력의 연계에는 SIMPLE⁽¹⁾방법을 사용하였다. 난류 모델로는 벽 함수를 가정하지 않고, 난류운동에너지와 소산율을 사용한 2-equation 모델인 k-w 난류모델⁽²⁾을 사용하였다.

2.2 기본 방정식

연속방정식

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_j U_i}{\partial x_j} = & -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{P}{\rho} + \frac{2}{3} k \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (v + \nu_t) \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right\} - g_i \beta \Theta \end{aligned} \quad (2)$$

에너지 방정식

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{\partial U_j \Theta}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(v + \frac{\nu_t}{\sigma_\Theta} \right) \frac{\partial \Theta}{\partial x_j} \right\} + \Phi \quad (3)$$

난류 운동에너지 수송방정식

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial U_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(v + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + P_k + G_k \quad (4)$$

난류 소산율 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial U_j \omega}{\partial x_j} = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(v + \frac{\nu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right\} \\ & + \frac{\omega}{k} (C_{1\omega} P_k - C_{2\omega} G_k) - C_{3\omega} \frac{\omega^2}{k} \end{aligned} \quad (5)$$

난류모델에 사용되어진 비례상수는 기본 값을 사용하였다.

2.3 해석 영역 및 경계 조건

본 연구에서 사용한 912,913 정거장의 해석 영역과 계산 격자 분포를 Fig. 1,2에 각각 나타내었다. 각의 해석 영역을 살펴보면, 스크린 도어의 위치 및 대합실로의 연결통로 그리고 공조 디퓨저(diffuser)의 위치를 를 나타내었다.

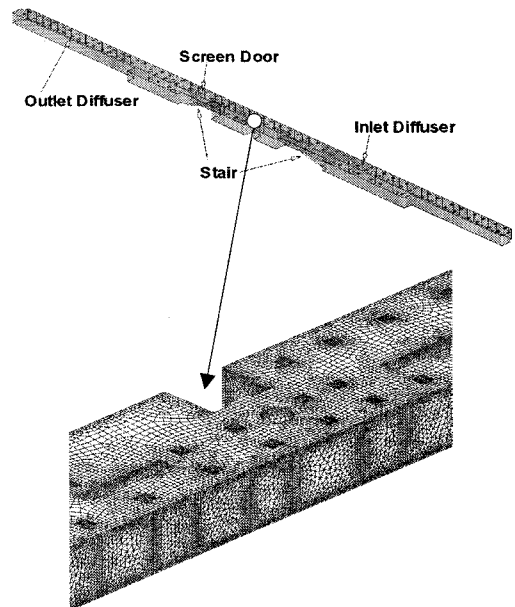


Fig. 1 Calculation domain and mesh distribution of 912 station platform.

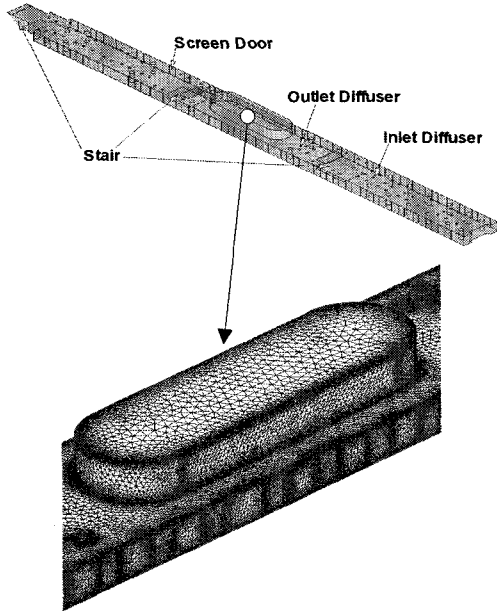


Fig. 2 Calculation domain and mesh distribution of 913 station platform.

계산 격자 분포를 살펴보면 속도 구배가 급격히 변할 것으로 예상 되어지는 급/배기구 주위 및 벽면 부근에 격자를 조밀하게 구성하였으며, 내부 영역에는 격자를 성글게 분포시켰다. 이러한 격자 분포를 통해 격자수 감소를 통한 계산 시간의 단축 및 격자계에서 발생할 수 있는 에러를 감소시키고자 하였다.

본 연구에서 사용한 912,913 정거장의 열 유동 해석 조건을 Table 1,2에 각각 나타내었다.

2.4 해석 결과 및 고찰

2.4.1 912 정거장 공조 해석

2.4.1.1 대합실로의 연결통로에서 가압 및 감압되지 않는 경우

스크린 도어와 대합실로의 연결 통로 사이에서 가압 및 감압되지 않는 경우, 공조 시스템 작동 시 승강장 내부의 속도, 속도 벡터 그리고 온도 분포를 해석 하였다.

Fig. 3(b)에는 속도 벡터 분포를 나타내었으며, 그림을 살펴보면, 대합실로의 연결통로로부터 승강장으로 유입되는 유동이 발생하였고 수평면에 다수의 와류가 형성됨을 알 수 있다.

Fig. 4(B)에는 속도 및 온도 분포를 나타내었으며, 그림을 살펴보면, 디퓨저로부터 급기된 공기가 승강장 바닥 부분 까지 원활히 도달하였고

다수의 수평 방향 와류를 형성하였다. 호흡선에 해당하는 바닥으로부터 1.5m 높이에서 0.03 ~ 0.06 m/s 의 속도 분포를 형성하며, 주위로 확산되어 배기됨을 알 수 있다. 온도 분포의 경우, 승강장 벽면을 통한 열유속 유입으로 벽면 부근에서 27 ~ 30℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었으며, 승강부 시점과 종점에서 32℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었다. 대합실로의 연결 통로로부터 유입 열량이 발생하여, 연결통로 부근에서 27℃ 정도의 온도 분포를 나타내었으며, 호흡선에 해당하는 바닥으로부터 1.5m 높이에서 19 ~ 28℃의 온도 분포를 나타내었다.

2.4.2.2 대합실로의 연결통로에서 가압(20 Pa) 되는 경우

스크린 도어와 대합실로의 연결 통로 사이에서 가압(20 Pa)되는 경우, 공조 시스템 작동 시 승강장 내부의 속도, 속도 벡터 그리고 온도 분포를 해석 하였다.

Fig. 3(c)에는 속도 벡터 분포를 나타내었으며, 그림을 살펴보면 대합실로의 연결통로로부터 승강장으로 유입되는 유동이 발생하였다.

Table 1 Thermal and flow boundary conditions in 912 station platform.

승강부 급기 온도	18℃
선로부 급기 온도	25℃
열차 발열량	160,000 kcal/hr
선로부 유입 열유속	43,226 kcal/hr
승강부 유입 열유속	449,778 kcal/hr
승강장 급/배기 풍량	831 CMM
역사 형식	상대식
역사 길이	165 m
역사 면적	1702.88 m ²

Table 2 Thermal and flow boundary conditions in 913 station platform.

승강부 급기 온도	18℃
선로부 급기 온도	25℃
열차 발열량	160,000 kcal/hr
선로부 유입 열유속	43,226 kcal/hr
승강부 유입 열유속	481,888 kcal/hr
승강장 급/배기 풍량	997 CMM
역사 형식	쌍섬식
역사 길이	170 m
역사 면적	1933.18 m ²

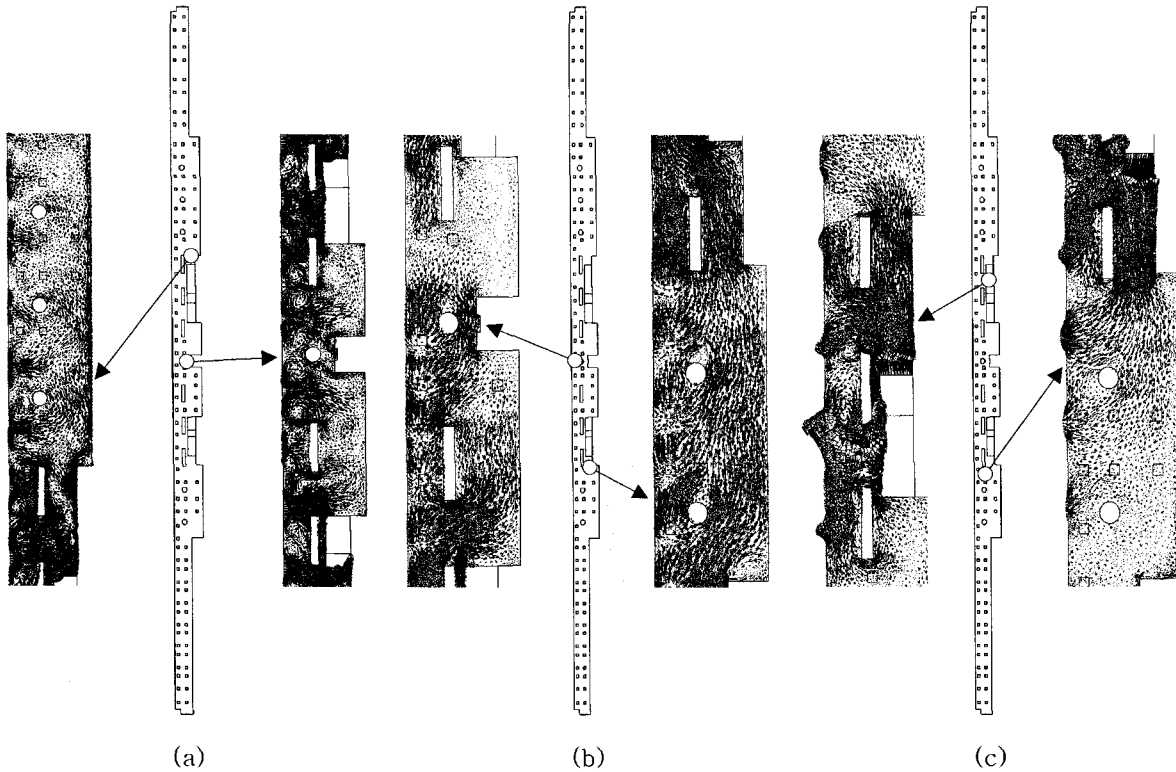


Fig. 3 Velocity vector distributions at 1.5m high with pressure drop -20 Pa(a), 0 Pa(b) and 20 Pa(c) between screen doors and stairs in 912 station platform.

수평면에 다수의 와류가 형성됨을 알 수 있다. 또한 승강부 일부 공기가 스크린 도어를 통해 유출되는 현상이 발생하였다.

Fig. 4(C)에는 속도 및 온도 분포를 나타내었으며, 그림을 살펴보면, 디퓨저로부터 급기된 공기가 승강장 바닥 부분 까지 원활히 도달하였으며, 다수의 수평 방향 와류를 형성하였다. 호흡선 높이에서 0.03 ~ 0.06 m/s 의 속도 분포를 형성하며, 주위로 확산되어 배기됨을 알 수 있다. 특히 가압(20 Pa)이 이루어지는 연결통로와 스크린 도어 사이에서 1m/s 정도의 높은 속도 분포가 발생하였다. 온도 분포의 경우, 승강장 벽면을 통한 열유속 유입으로 벽면 부근에서 27 ~ 30℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었으며, 승강부 시점과 종점에서 32℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었다. 연결 통로로의 가압으로 인해 대합실로의 연결 통로로부터 승강부로 유입 열유속이 다량 발생하여, 연결통로 부근에서 26.5℃ 정도의 온도 분포를 나타내었으며, 호흡선 높이에서 24 ~ 30℃의 온도 분포를 나타내었다.

2.4.1.3 대합실로의 연결통로에서 감압(-20 Pa) 되는 경우

스크린 도어와 대합실로의 연결 통로 사이에 감압(-20 Pa)되는 경우, 공조 시스템 작동시 승강장 내부의 속도, 속도 벡터 그리고 온도 분포를 해석 하였다.

Fig. 3(a)에는 속도 벡터 분포를 나타내었으며, 그림을 살펴보면, 대합실로의 연결통로로부터 승강장으로 유출되는 유동이 발생하였으며, 수평면에 다수의 와류가 형성됨을 알 수 있다. 또한 승강부 일부 공기가 스크린 도어를 통해 유입되는 현상이 발생하였다.

Fig. 4(A)에는 속도 및 온도 분포를 나타내었으며, 해석 결과를 살펴보면, 디퓨저로부터 급기된 공기가 승강장 바닥 부분 까지 원활히 도달하였으며, 다수의 수평 방향 와류를 형성하며, 호흡선 높이에서 0.02 ~ 0.06 m/s 의 속도 분포를 형성하며, 주위로 확산되어 배기됨을 알 수 있다. 특히 감압(-20 Pa)이 이루어지는 연결통로와 스크린 도어 사이에서 1m/s 정도의 높은 속도 분포가 발생하였다.

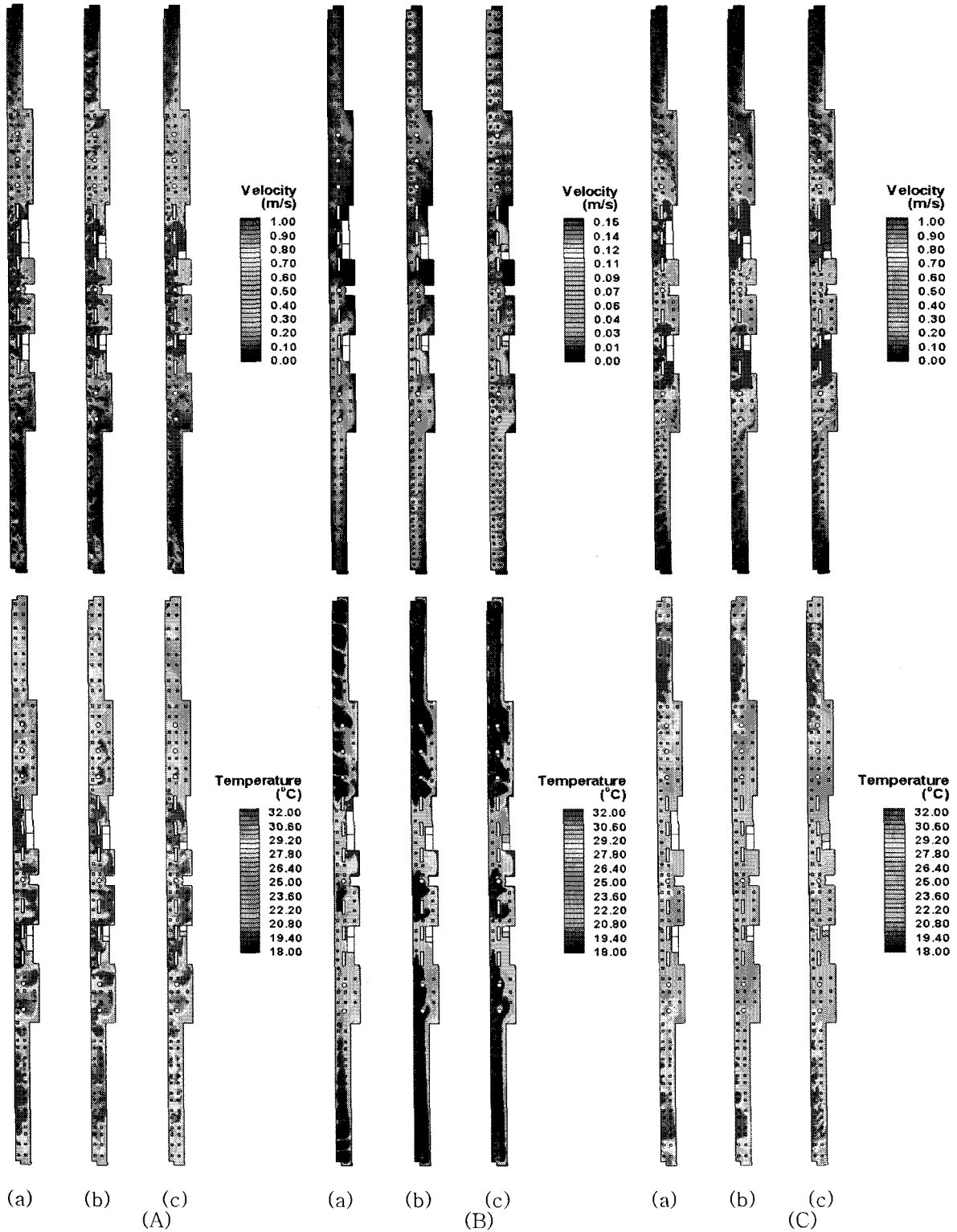


Fig. 4 Velocity and temperature distributions at (a)0.5, (b)1.5, (c)2.5m high with pressure drop -20 Pa(A), 0 Pa(B) and 20 Pa(C) between screen doors and stairs in 912 station platform.

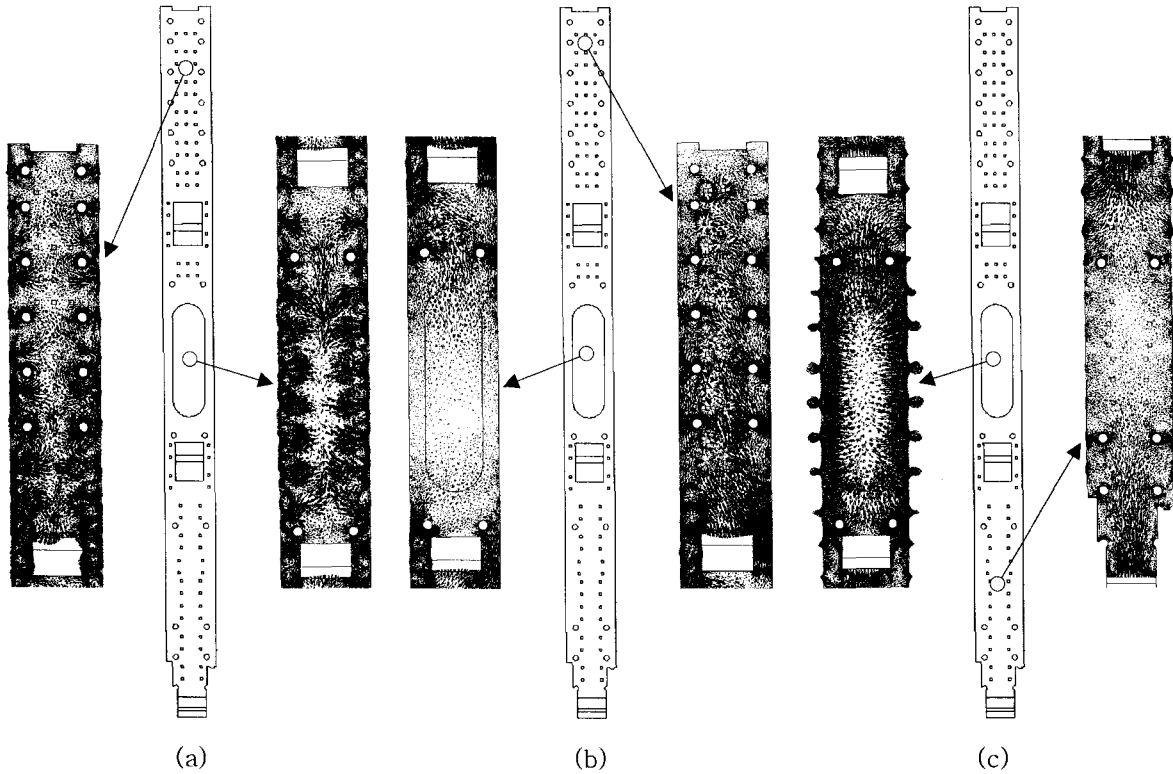


Fig. 5 Velocity vector distributions at 1.5m high with pressure drop -20 Pa(a), 0 Pa(b) and 20 Pa(c) between screen doors and stairs in 913 station platform.

온도 분포의 경우, 승강장 벽면을 통한 열유속 유입으로 벽면 부근에서 27 ~ 30℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었으며, 승강부 시점과 종점에서 32℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었다. 연결 통로로의 감압으로 인해 스크린 도어로부터 승강부로 유입 열유속이 다량 발생하여, 연결통로 부근에서 31℃ 정도의 온도 분포를 나타내었으며, 인간의 호흡선에 해당하는 바닥으로부터 1.5m 높이에서 23 ~ 30℃의 온도 분포를 나타내었다.

2.4.2 913 정거장 공조 해석

2.4.2.1 대합실로의 연결통로에서 가압 및 감압되지 않는 경우

스크린 도어와 대합실로의 연결 통로 사이에 가압 및 감압되지 않는 경우, 공조 시스템 작동시 승강장 내부의 속도, 속도 벡터 그리고 온도 분포를 해석 하였다.

Fig. 5(b)에는 속도 벡터 분포를 나타내었으며, 해석 결과를 살펴보면, 대합실로의 연결통로로부터 승강장으로 유출되는 유동이 발생하였으며,

수평면에 다수의 와류가 형성됨을 알 수 있다.

Fig. 6(B)에는 속도 및 온도 분포를 나타내었다. 해석 결과를 살펴보면, 디퓨저로부터 급기된 공기가 승강장 바닥 부분 까지 원활히 도달하였으며, 다수의 수평 방향 와류를 형성하며, 호흡선 높이에서 0.02 ~ 0.12 m/s 의 속도 분포를 형성하며, 주위로 확산되어 베기됨을 알 수 있다. 온도 분포의 경우, 승강장 벽면을 통한 열유속 유입으로 벽면 부근에서 27 ~ 30℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었으며, 승강부 시점과 종점에서 32℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었다. 대합실로 연결된 아트리움으로부터 유입 열량이 발생하여, 아트리움 부근에서 27 ~ 30℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었으며, 호흡선 높이에서 18.5 ~ 28℃의 온도 분포를 나타내었다.

2.4.2.2 대합실로의 연결통로에서 가압(20 Pa)되는 경우

스크린 도어와 대합실로의 연결 통로 사이에 가압(20 Pa)되는 경우, 공조 시스템 작동시 승강장 내부의 속도, 속도 벡터 그리고 온도 분포를

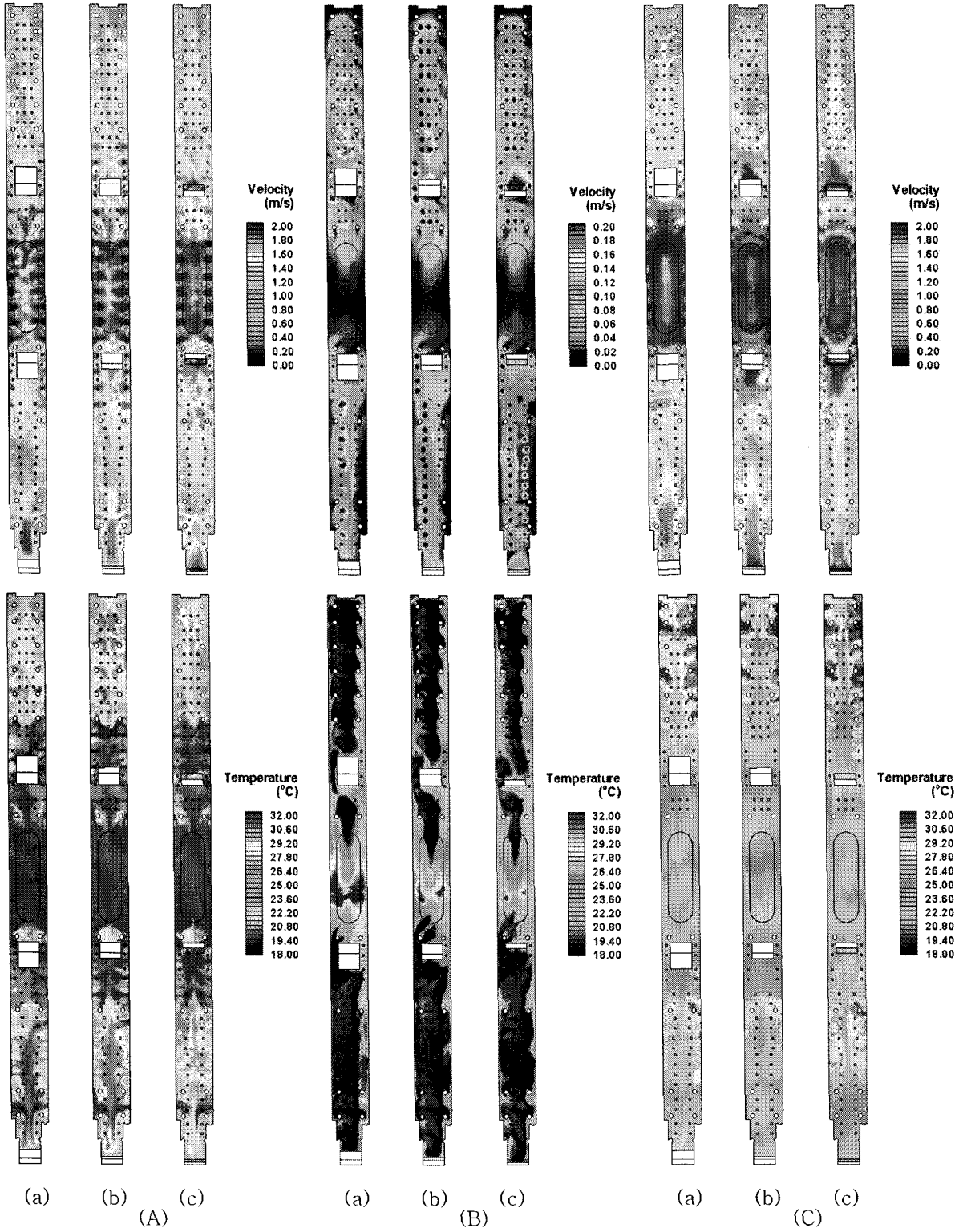


Fig. 6 Velocity and temperature distributions at (a)0.5, (b)1.5, (c)2.5m high with pressure drop -20 Pa(A), 0 Pa(B) and 20 Pa(C) between screen doors and stairs in 913 station platform.

해석 하였다.

Fig. 5(c)에는 속도 벡터 분포를 나타내었다. 해석 결과를 살펴보면, 대합실로의 연결통로로부터 승강장으로 유입되는 유동이 발생하였으며, 수평면에 다수의 와류가 형성됨을 알 수 있다. 또한 승강부 일부 공기가 스크린 도어를 통해 유출되는 현상이 발생하였다.

Fig. 6(C)에는 속도 및 온도 분포를 나타내었다. 해석 결과로부터, 디퓨저로 급기된 공기가 승강장 바닥 부분 까지 원활히 도달하였으며, 다수의 수평 방향 와류를 형성하며, 호흡선 높이에서 0.8 ~ 1.4 m/s 의 속도 분포를 형성하며, 주위로 확산되어 배기됨을 알 수 있다. 특히 가압(20 Pa) 이 이루어지는 연결통로와 스크린 도어 사이에서 1.6m/s 정도의 높은 속도 분포가 발생하였다. 온도 분포 의 경우, 승강장 벽면을 통한 열유속 유입으로 벽면 부근에서 27 ~ 30℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었으며, 승강부 시점과 종점에서 32℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었다. 연결 통로로의 가압으로 인해 대합실로의 연결 통로로부터 승강부로 유입 열유속이 발생하였고, 또한 아트리움 부근에서 승강부로의 유입 열유속 이 발생하였다. 연결통로 및 아트리움 부근에서 26.5℃ 정도의 온도 분포를 나타내었으며, 호흡선 높이에서 25 ~ 30℃의 온도 분포를 나타내었다.

2.4.2.3 대합실로의 연결통로에서 감압(-20 Pa) 되는 경우

스크린 도어와 대합실로의 연결 통로 사이에 감압(-20 Pa)되는 경우, 공조 시스템 작동시 승강장 내부의 속도, 속도 벡터 그리고 온도 분포 를 해석 하였다.

Fig. 5(a)에는 승강장 내부의 속도 벡터 분포를 나타내었다. 그림을 살펴보면, 대합실로의 연결통로로부터 승강장으로 유출되는 유동이 발생하였으며, 수평면에 다수의 와류가 형성됨을 알 수 있다. 또한 승강부 일부 공기가 스크린 도어를 통해 유입되는 현상이 발생하였다.

Fig. 6(A)에는 속도 및 온도 분포를 나타내었다. 그림을 살펴보면, 디퓨저로부터 급기된 공기가 승강장 바닥 부분 까지 원활히 도달하였으며, 다수의 수평 방향 와류를 형성하며, 인간의 호흡선에 해당하는 바닥으로부터 1.5m 높이에서 0.8 ~ 1.4 m/s 의 속도 분포를 형성하며, 주위로 확

산되어 배기됨을 알 수 있다. 특히 감압(-20 Pa) 이 이루어지는 연결통로와 스크린 도어 사이에서 1.6m/s 정도의 높은 속도 분포가 발생하였다. 온도 분포의 경우, 승강장 벽면을 통한 열유속 유입으로 벽면 부근에서 27 ~ 30℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었으며, 승강부 시점과 종점에서 32℃ 정도의 높은 온도 분포를 나타내었다. 연결 통로로의 감압 및 아트리움 부근의 감압으로 인해 스크린 도어로부터 승강부로 유입 열유속이 다량 발생하여, 연결통로 및 아트리움 부근에서 31℃ 정도의 온도 분포를 나타내었으며, 호흡선에 해당하는 바닥으로부터 1.5m 높이에서 25 ~ 30℃의 온도 분포를 나타내었다.

3. 결론

본 연구에서는 지하철 9호선 912,913 정거장 승강장에서 공조 관점의 열유동 특성을 수치해석 하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

912 정거장의 경우, 호흡선에 해당하는 바닥으로부터 1.5m 높이에서 속도 및 온도 분포는 다음과 같다.

압력강하량(Pa)	속도분포(m/s)	온도분포(℃)
0	0.03 ~ 0.06	19 ~ 28
20	0.03 ~ 0.06	24 ~ 30
-20	0.02 ~ 0.06	23 ~ 30

913 정거장의 경우, 호흡선 높이에서 속도 및 온도 분포는 다음과 같다.

압력강하량(Pa)	속도분포(m/s)	온도분포(℃)
0	0.02 ~ 0.12	18.5 ~ 28
20	0.8 ~ 1.4	25 ~ 30
-20	0.8 ~ 1.4	25 ~ 30

각각의 승강장 모두에서 스크린 도어와 대합실로의 연결통로 사이 압력 강하량이 없을 때 우수한 공조 특성을 나타내었다.

참고문헌

1. S. V. Patankar, 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere, New York.
2. Wilcox, David C., 1994, Turbulence Modeling for CFD, DCW Industries, Inc.