

PF1)

## 전산수치해석 모델을 활용한 지하철 객실공기질 예측기술

### Estimation of Subway Cabin IAQ using Computational Fluid Dynamics(CFD) Model

권순박 · 박덕신 · 조영민 · 김세영 · 배광호<sup>1)</sup> · 조관현<sup>1)</sup> · 유건종<sup>1)</sup> · 김정수<sup>1)</sup>

한국철도기술연구원 도시철도 공기질 개선 연구단, <sup>1)</sup>서울메트로 기술연구소

#### 1. 서 론

2009년 현재 수도권 도시철도 차량은 모두 3,662량(서울메트로 2104량, 도시철도공사 1,558량)으로 하루평균 721만명(서울시통계연보, 2008)의 승객을 수송하고 있는 수도권의 주요한 대중교통수단이다. 최근 수도권 도시철도 지하역사 승강장에 설치완료된 승강장 스크린도어(platform screen door)로 인해, 승강장과 대합실의 공기질 개선효과가 나타나고 있으나, 상대적으로 터널내 오염은 악화될 것으로 예상되어 터널구간을 주로 운행하는 지하철 객실 공기질 악화문제가 제기되고 있다. 이에 본 연구에서는 지하철 객실 공기질을 예측할 수 있는 해석모델을 개발하고, 향후 객실용 공기정화장치 등이 개발될 경우 공기정화효과를 사전에 예측하고자 한다. 또한, 개발된 모델을 이용하여 외부 오염물질의 유입방식에 따른 객실내 분포특성을 예측하고, 승객의 호흡과 재채기 등 인체활동에 의해 발생되는 오염물질의 유동특성을 예측하는데 활용하고자 한다.

#### 2. 연구 방법

수도권에서 현재 운행중인 지하철차량 중 최근 제작되었으며, 앞으로 지속적으로 투입되어 운영될 차량(서울메트로 2호선 신조차량)을 대상모델로 선정하였다. 대상차량의 내외부 도면과 환기설비 배치자료를 활용하여 Design Modeler(ANSYS사)를 이용하여 3차원 모델링하였다. 객실구조의 대칭성과 계산시간 단축을 위하여 객실공간의 1/4을 고려하였다(그림 1). 객실내 공기흐름은 객실전체 천정부에 설치되어 있는 슬릿(slit)을 통해 냉방공기가 균등하게 분배되며, 중앙부에 설치되어 있는 선형팬(line flow fan)의 작동에 따라 객실공기의 유동패턴이 달라지게 된다(권순박 등, 2009). 객실내 공기의 유동현상을 해석하기 위하여 상용 수치해석 프로그램인 CFX(ANSYS사)를 활용하였다. 객실내 승객의 예상온열냉감(predicted mean vote; PMV) 계산을 위해 Fortran 코드를 추가로 입력하였으며, 미세먼지 농도예측을 위해 입자추적기법(Lagrangian particle tracking)을 적용하였다. 개발된 모델의 검증을 위해 냉방장치 가동시 객실내 온도분포 예측과 승객의 예상온열냉감을 평가하였으며, 승객에 의해 발생되는 이산화탄소 농도분포, 외부에서 유입되는 미세먼지의 농도분포 특성을 해석하였다. 또한, 개발중인 이산화탄소 저감장치의 공차내 성능평가시험 결과와 수치해석적 결과를 비교하였다.

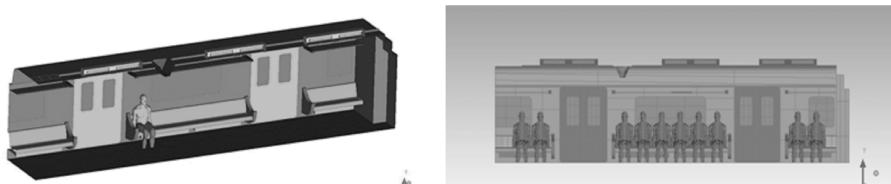


Fig. 1. Subway-cabin quarter model.

#### 3. 결과 및 고찰

개발된 수치해석 모델을 활용하여 냉방장치 가동시 객실 온열환경평가(PMV분석), 유동장 패턴 분석을 수행하였으며, 승객의 호흡에 따른 CO<sub>2</sub> 농도 증가현상을 해석하였다(그림 2). 객실의 단면을 기준으로 천정부에서 투출되는 공기와 선형팬의 가동에 따라 전체적으로 객실 중앙부에서 수직하강하여 창문

방향으로 회전하고 다시 천정부로 유입되는 형상으로 나타났으며, 이에 따라 착석한 승객의 머리 위 부분 영역에서 다소 더위를 느낄 수 있는 것으로 분석되었다. CO<sub>2</sub> 농도의 경우 승객수 증가에 따라 빠른 속도로 객실 전체 CO<sub>2</sub> 농도 증가에 영향을 주었다.

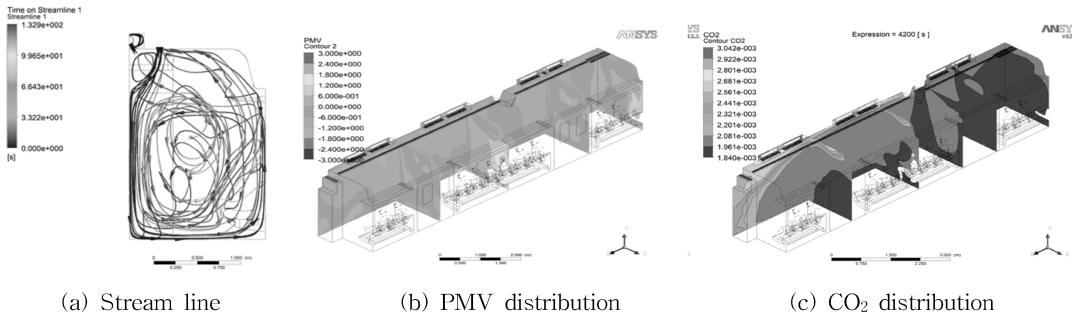


Fig. 2. Prediction of flow pattern, PMV and CO<sub>2</sub> concentrations.

그림 3은 천정부 냉기통출부(slit)를 통해 미세먼지가 유입되거나, 승객의 영향으로 발생하거나 혹은 출입문 개방을 통해 발생되는 미세먼지의 입자거동특성을 나타내고 있다. 냉방장치 가동 시 신선공기의 유입으로 인해 미세먼지가 포함되어 있는 터널공기가 객실로 유입될 경우 그림 3(a)와 같이 천정부 냉기통출부를 따라 객실 전체에 유사한 영향을 줄 수 있으며, 착석한 승객에 의해 발생되는 경우와 출입문 개방에 의해 유입되는 경우에는 객실환기에 의해 국부적 상승이 예상된다.

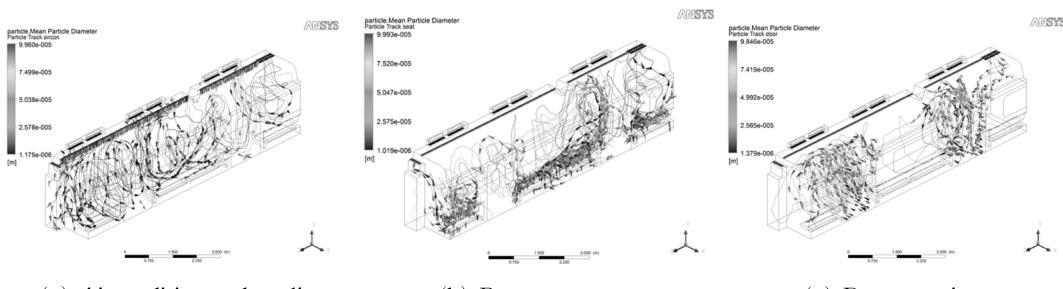


Fig. 3. Particle pathline in the cabin by the source position.

본 연구에서 개발된 수치해석 모델을 활용하여, 개발중인 미세먼지와 이산화탄소 저감장치에 대한 사전성능평가, 최적위치 및 용량산정 등에 활용할 계획이다. 또한, 재채기와 같은 인체활동에 의해 토출되는 감염성 오염물질의 이동경로 예측에도 활용하고자 한다.

## 사사

본 연구는 국토해양부 미래도시철도기술개발사업(도시철도 터널 및 차량의 공기질 개선기술개발 연구단)의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 권순박, 김세영, 박덕신, 조영민, 배광호, 유건종, 김정수 (2009) 도시철도 객실 배기구에 의한 실내공기질 영향분석, 한국대기환경학회 2009년 추계학술대회 논문집, 286-288.  
 서울시통계연보 (2008) 지하철수송.