

수치해석을 활용한 차세대전동차 실내쾌적성 해석

박성혁[†], 오세찬·권순박*·김영남**

Key Words: HVAC, 유동해석, PMV, 쾌적성

Abstract

도시철도의 환승체계 개선과 차량의 이용편의성 향상 및 고유가 등으로 도시철도 이용객수는 해마다 증가하고 있다. 이렇게 많은 승객이 이용하는 차량실내는 미세먼지, CO₂ 등의 오염물질이 증가하여 이용승객의 건강을 해치고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위해 새롭게 개발되는 차세대전동차에 수치해석 기법을 적용하여 설계단계에서 덕트 및 실내기기배치 등을 모델링하여 열유동 및 쾌적성을 해석하여 국제기준과 비교하여 그 기준을 만족하는 차량임을 확인하였다.

1. 서론

도시철도 이용승객의 증가에 따라 차량내의 실내공기질에 대한 관심이 해마다 증가하고 있는 실정이다. 이러한 실내공기질의 쾌적성 향상 요구조건을 새롭게 개발되는 차세대전동차에 반영하고자 설계초기부터 실내공기의 유동해석과 이를 바탕으로 한 쾌적성 분석을 수행하여 개발차량이 국제철도기준(EN)의 만족을 확인하였다. 본 연구에서는 국내최초로 실내덕트를 CFD를 활용하여 차량내부의 환기 및 쾌적성 해석을 수행하여 덕트설계에도 반영하였다. 또한 PMV 인자를 활용하여 온열환경성과 쾌적성을 평가하였다. 차세대전동차시스템 기술개발사업에서는 승객의 다양한 요구조건을 만족시키기 위해 객실타입을 크게 도심형, 교외형, 침단형 3가지로 개발하였으며, 특히 이번 연구에서는 도심과 부도심을 연결하는 교외형 차량(혼합형 의자배치)을 선정하여 열유동 및 쾌적성을 평가하였다.

2. 연구방법

그림1과 같은 교외형 차량의 의자배치는 한쪽은 종향배치며, 다른한쪽은 횡방향배치로 형상의 비대칭으로 인해 모든 공간을 모델링한 후 Fluent를 이용한 3차원 유동해석을 수행하였다. 해석 경계조건으로 여름철 실외운행을 가정하였으며 철도차량의 천장부 및 외벽부분은 35℃ 등 온조건으로, 의자와 실내바닥은 단열조건으로 가정하였다. 또한 유리창문을 통해 태양열이 227W/m²로 실내에 유입되고, 냉각공기의 공급량은 6800m³/h, 냉방시 토출온도는 15℃로 설정하였다. 이를 바탕으로 예상온열냉감(predicted mean vote; PMV; Fanger,1982)을 계산하기 위하여 승객의 활동량을 1.0MET, 의복의 단열값을 0.5clo, 복사온도를 35℃로 가정하였으며 외부일은 없는 것으로 산정하였다. 객실내 유동해석을 통해 제시된 온도 및 습도 등의 데이터를 활용하여 객실 위치별 예상온열냉감을 계산하였다. 도시철도 차량의 객실 쾌적성에 관한 유럽연합의 규격(EN14750, 2006)을 적용하여 객실 쾌적성을 평가하였다. 유럽연합 규격에서는 도시철도 객실내에서 수직 및 수평 온도편차가 8℃를 넘지않도록 규정되어 있으며, 습도와 기류속도는 특정 실내온도에서 주어진 범위를 만족하도록 제시되어 있다.

† 회원, 한국철도기술연구원
E-mail : shpark@krti.re.kr
TEL : (031)460-5073 FAX : (031)460-5809

* 저자 2의 소속 : 한국철도기술연구원

** 저자 3의 소속 : (주)바람과소리

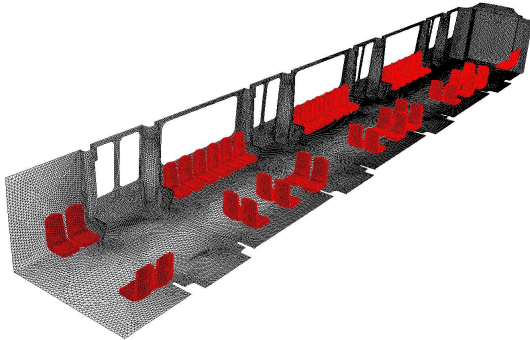


Fig. 1. Inside of urban train and its mesh.

3. 결론

도시철도차량의 측정위치는 좌석근처와 복도 중앙 라인을 바닥에서 천장 방향으로 5단계로 나누어 측정 및 계산을 수행하였다. 높이는 유럽연합의 규격을 참조하여 0.2m, 0.5m, 1.2m, 1.5m, 1.7m 로 선정하였고, 길이 방향으로는 입석 승객이 서 있을 수 있는 위치와 출입문 및 좌석 영역을 선정하여 해석하였다.

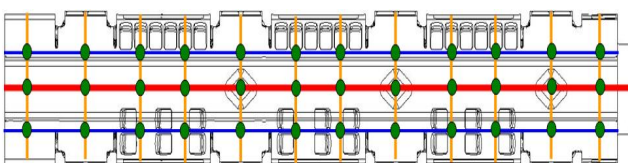
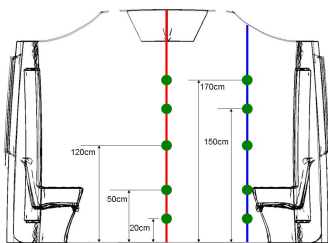


Fig. 2. Vertical and horizontal points for analysis.

그림3에 객실온도와 PMV해석결과를 제시하였다. 좌석부근에서는 높이별로 큰 온도편차가 나타났으며 특히 승객의 발목부위(0.2m)와 무릎부위(0.5m)의 온도편차가 크게 나타나 좌석 승객의 온열쾌적성에 영향을 줄 것으로 예측되었다. 차량의 길이방향 편차는 수직편차에 비하여 적은 것으로 나타났다. 전체적으로 객실 내 온도편차는 수직, 수평방향 모두에서 유럽연합의 쾌적성 기준을 만족하였다. PMV의 경우 위치별로 큰 편차를 나타내었으며 전체평균이 약 -0.5 정도로 나타나 적정범위보다는 약간 서늘(slightly cool)한 것으로 나타났다. 실제 승객이 탑승할 경우 승객의 발열로 인해 실내온도와 PMV 증가가 예상된다.

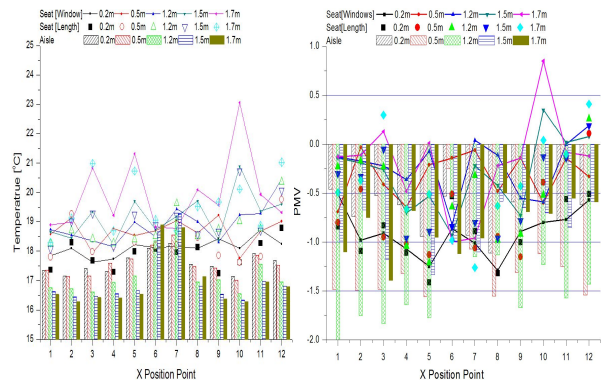


Fig. 3. Temperature and PMV variation in the urban railway cabin.

후기

본 논문은 한국철도기술연구원에서 수행중인 차세대첨단도시철도시스템 기술개발사업 3차년도 연구로 수행한 내용입니다.

참고문헌

- [1] ASHRAE, 2003, Chapter 8. Thermal comfort.
- [2] UIC Code 553 (2004) Heating, ventilation and air-conditioning in coaches
- [3] Fanger, P.O. (1982) Thermal comfort-analysis and application in environmental engineering, McGrawHill Book Company.