차세대전동차의 실내온열환경 연구

Study on Indoor Thermal Comfort of Advanced EMU

권순박* 박덕신** 조영민*** 박성혁**** 오세찬***** 김영남******

Kwon, Soon-Bark Park, Duckshin Cho, Youngmin Park, Sunghyuk Oh, Sehchan Kim, Youngnam

---

ABSTRACT

More than 7 million people use the Seoul metropolitan subway network daily. This number tends to increase due to the increase of oil price. Indoor air quality of electrical multiple unit (EMU) is strongly affected by outdoor air quality, however, indoor thermal comfort is subjected to heating, ventilating, and air conditioning (HVAC) system of EMU. In general, air temperature, humidity, air velocity, surface temperature, and illumination are key parameters affecting thermal comfort of passenger. It is known that the well-designed HVAC system should improve the thermal comfort of passengers and should increase the energy efficiency of HVAC system also. In this study, we analyzed the thermal comfort of advanced EMU developed by Korea Railroad Research Institute by using the computational fluid dynamics (CFD) in order to find the optimum HVAC system which can improve thermal comfort of passengers with a minimal energy use.

---

1. 서 론

지하철 및 수도권광역 철도망 등 도시철도의 이용객은 2007년 서울시 기준으로 하루 평균 712만명에 달하고 있다(2008 서울통계연보). 또한, 최근 고유가의 영향으로 지하철을 이용한 출퇴근이 증가하고 있으며, 앞으로도 꾸준한 증가세가 예상된다. 도시철도 차량의 객실 공기질은 실내와 실외의 영향을 동시에 받지만, 객실 쾌적성은 주로 차량용 공조시스템(heating, ventilating, and air conditioning; HVAC)이 제어하는 온도, 습도, 기류속도, 내부표면온도 등 실내조건에 영향을 받는다. 잘 설계된 HVAC시스템이 전동차에 장착된다고 하여도 의자 등과 같은 실내 구조물 형상과 배치에 따라 객실내 공기 유동양상은 크게 달라지며 이는 냉난방 에너지효율과도 직접적인 상관관계를 가지게 된다. 따라서, 도시철도 차량의 설계단계에서부터 수치해석적 방법을 적용하여 실내 온열쾌적성을 향상시키고 에너지효율을 높일 수 있는 HVAC시스템의 선정과 설계가 중요하다. 본 연구에서는 전산수치해석을 이용하여 현재 철도기술연구원 차세대전동차연구단에서 개발 중인 도시철도 차량의 온열환경을 평가하였다. 온열환경 평가를 위해, 객실을 3차원으로 모델링하였으며, 객실 내 덕트에서 공급되는 공기량을 산정하기 위하여 덕트부분을 따로 해석한 뒤, 전체 모델에서 경계조건으로 사용하였다. 열유동해석은 상용프로그램인 Fluent를 사용하였다.

---

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
E-mail : sbkwon@krri.re.kr
TEL : (031)460-5375 FAX : (031)460-5319
** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
**** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
***** 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원
****** 바람과 소리, 일반회원

2. 연구방법

그림1 및 그림2와 같이 도심형 도시철도 차량을 모델링하였으며, 덕트를 통한 내부공기의 순환이 대칭을 이루기 때문에 차량 절반에 대해 Fluent를 이용한 3차원 유동해석을 수행하였다. 내부격자는 사면체 격자로 총 1,225,845개가 사용되었다. 해석 경계조건으로 여름철 실외운행을 가정하였으며 철도차량의 천장부 및 외벽부분은 35℃ 등온조건으로, 의자와 실내바닥은 단열조건으로 가정하였다. 유리창문의 두께와 면적등을 이용하여 태양열이 227W/m^{2}로 실내에 유입되는 것으로 산정하였다. 냉각공기의 공급량은 6800m^3/h, 냉방시 토출온도는 15℃로 설정하였다. 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.

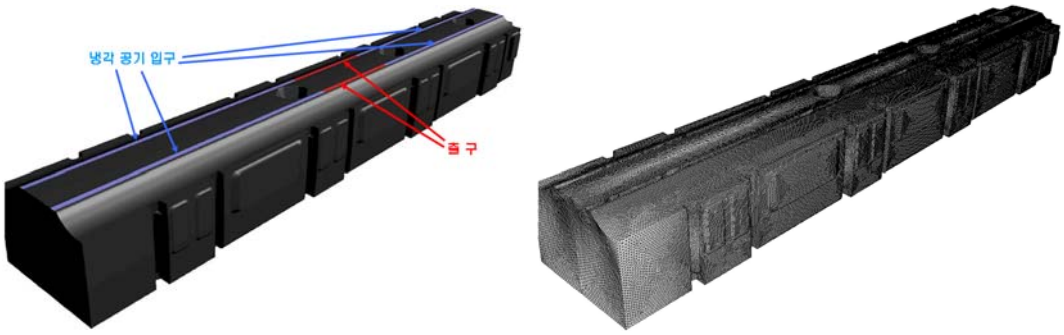

Fig. 1. Outside of urban train and its mesh.

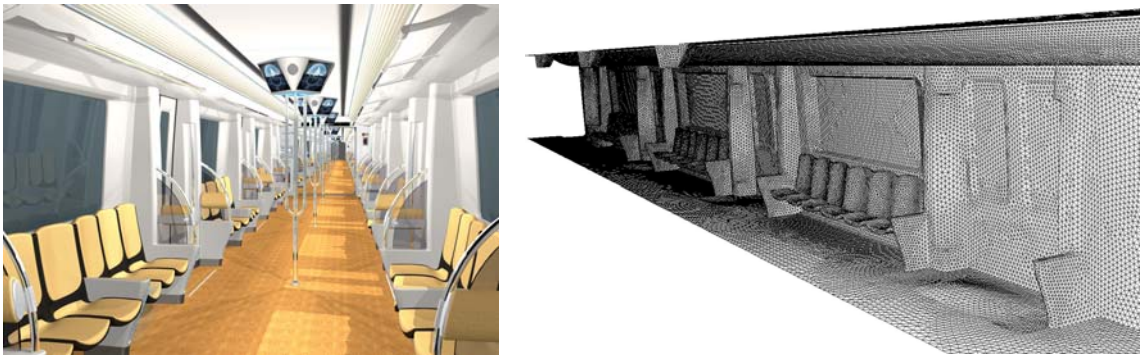

Fig. 2. Inside of urban train and its mesh.

3. 결과 및 고찰

열유동 해석결과 도심형 도시철도 차량의 실내온도 분포는 표 1과 같이 나타났다. 바닥에서의 높이에 따라 평균온도가 차이가 나타났으며, 1.7m 높이에서의 온도편차가 7℃로 가장 높게 나타났다.

표 1. 객실내 높이에 따른 평균온도

바닥에서 높이	평균온도(℃)	최대온도(℃)	최소온도(℃)	편차(℃)
0.2m	17.9	19.2	17.2	2.0
0.5m	18.3	19.6	17.1	2.5
1.2m	18.4	19.6	16.6	3.0
1.5m	18.4	21.3	16.3	5.0
1.7m	18.9	23.3	16.3	7.0

냉각공기가 토출되는 중앙 천정부위에서 최대 0.5m/s의 유속으로 기류가 생성되어 수직하강 하였다가 바닥면에서 창측으로 회전하는 기류분포가 나타났다(그림 3).

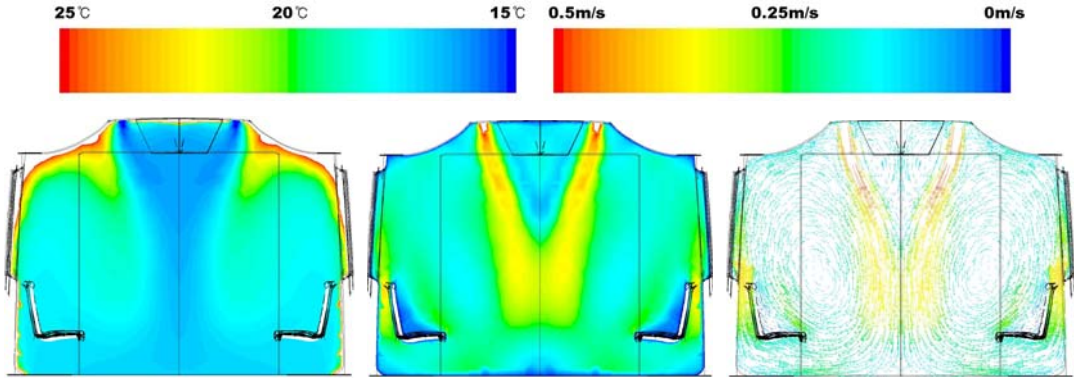

Fig. 3. Temperature and air velocity profile.

도시철도 객실의 좌석위치를 기준으로 바닥에서 0.2, 0.5, 1.2, 1.5, 1.7m 지점과 객실 중앙을 기준으로 같은 높이에서 각각 실내온도와 PMV를 차량의 길이방향에 따라 해석하였다(그림 4).

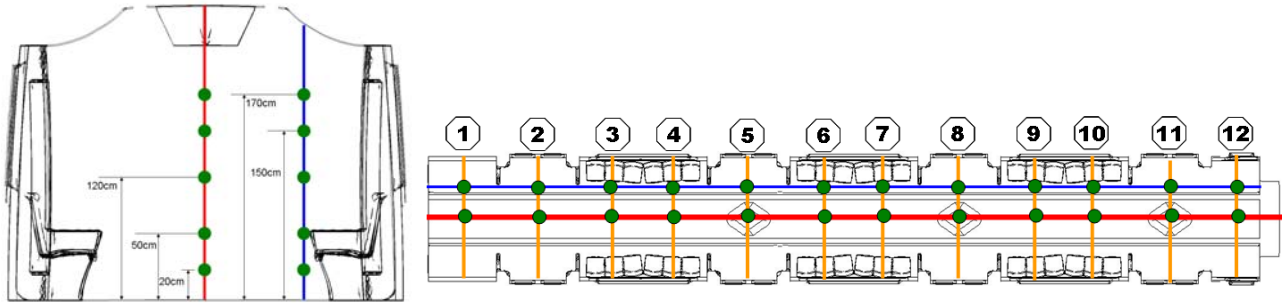

Fig. 4. Vertical and horizontal points for analysis.

그림 5에 객실온도와 PMV해석결과를 제시하였다. 좌석부근에서는 높이별로 큰 온도편차가 나타났으며 특히 승객의 발목부위(0.2m)와 무릎부위(0.5m)의 온도편차가 크게 나타나 착석 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.

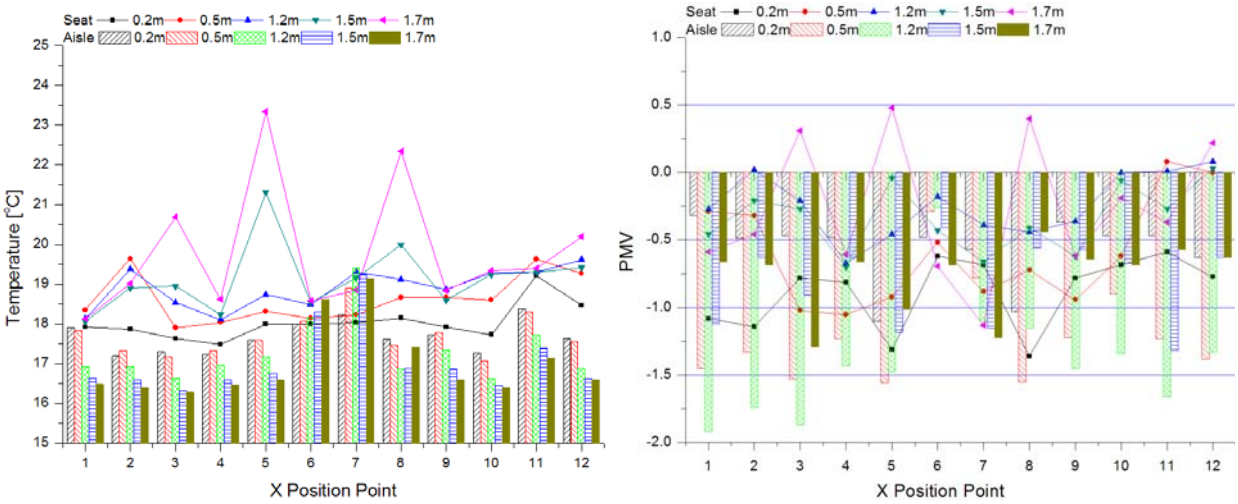

Fig. 5. Temperature and PMV variation in the urban railway cabin.

4. 결론

한국철도기술연구원 차세대전동차 연구단에서 개발 중인 도심형 첨단도시철도 차량 객실의 온열환경을 수치해석적인 방법으로 연구하였다. 유럽연합의 실내쾌적성 기준인 EN14750과 실내온열환경에 관한 쾌적성 기준인 PMV값을 이용하여 실내 쾌적성을 평가하였다. 도심형 도시철도 차량의 냉방시 수평온도 편차와 수직온도 편차가 EN14750의 기준을 모두 만족하였으며, PMV값은 쾌적기준인 -0.5~+0.5보다는 다소 낮은 값을 나타내었다. 이는, 승객이 탑승하지 않아 승객으로부터 발산되는 열이 포함되지 않은 결과이며 실제 운행시에는 냉방시 쾌적성이 향상될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

서울통계연보 (2008) 제48회 2008년 서울통계연보(2007년기준).

EN14750-1 (2006) Railway applications-Ari conditioning for urabn and suburban rolling stock-Part 1: Comfort parameters

Fanger, P.O. (1982) Thermal comfort-analysis and application in environmental engineering, McGrawHill Book Company.