

철도 전동차내의 쾌적성 평가에 관한 연구

- 온도 및 습도를 중심으로 -

Evaluation of Comfortableness in Railroad Electric Rolling Stock

- Focused on Temperature and Humidity -

박덕신¹, 배상호², 정병철³, 이주열⁴

Duck-Shin Park, Sang-Ho Bae, Byung-Chul Jung, Ju-Yeol Lee

Keywords : Electric Rolling Stock (전동차), Indoor Air Quality (실내 공기질),
Computational Fluid Dynamics (전산유체해석), Thermal Environment (열환경)

Abstract

Most of people spends their times in indoor about 85% of a day. Thus, indoor is more serious than outdoor concerned with the health. We discussed comfortableness in a railroad electric rolling stock, and focused on temperature and humidity. Electric rolling stock is one of major public transportation system because of an increasing in population and heavy traffic problems. The passengers are under the influence of indoor air quality such as air temperature, relative humidity and air velocity. Ventilation system in electric rolling stock should be designed for the health and comfort. One of the main aims is to create an acceptable thermal environment without draught problem. The draught sensation increases when the air temperature decreases and the air velocity increases. Airflow in electric rolling stock is turbulent. Temperature and humidity gradients in electric rolling stock have been studied. And, the difference between mean temperature and relative humidity measured at 0.7, 0.9, 1.2, 1.7 m above the floor. It has been found that temperature and relative humidity with large fluctuations caused more draught complaints.

1. 서론

도시지역의 인구집중 및 교통량 증가로 환경오염이 가중되면서 실내환경에 대한 관심이 본격적으로 대두되기 시작했다. 1970년대 이후 각종 산업분야와 실내 환경에 대해 에너지 절감 및 효율을 높이기 위해 건물의 밀폐화, 절연 물질의 사용, 환기율 (ventilation rate)

의 감소 등으로 실내공기질은 악화되기 시작했으며, 이로 인해 인체 위해도는 더욱 증가하게 되었다 [1]. 현대인의 경우 대부분의 시간을 가정이나 사무실, 실내 작업장, 공공건물, 지하상가, 대중 교통수단 등 다양한 실내공간에서 생활하고 있으며, 하루 시간의 85% 이상을 실내공간에서 생활하는 현대인에게 쾌적한 실내 환경에 대한 요구가 절실하다 [2]. 실내 환경조건은 온도, 상대습도, 공기유동, 환기, 빛, 소음, 진동 등 다양한 물리인자들의 결과이다. 물리적인 환경은 인간의 편안함에 심각한 영향을 미치며, 다양한 환경시스템에 의해 기계적으로 조절된다 [3,4].

1 정회원, 한국철도기술연구원 철도환경연구그룹, 선임연구원

2 비회원, 한국철도기술연구원 철도환경연구그룹, 연구원

3 비회원, (주)ROTEM 기술연구소 설계2팀, 사원

4 비회원, (주)그린ACE 기술부, 대리

환경시스템은 냉난방 시스템 (Heating, Ventilation and Air-Conditioning)을 제공하며 인간의 쾌적함을 위해 적절한 환경시스템의 작동은 일의 효율성을 증대시키고, 건강한 삶을 유지하는데 매우 중요하다 [5]. 인간의 편안함은 주위 열환경으로부터 상당히 복잡한 열교환 과정을 거쳐 쾌적한 상태를 느끼게 된다. 쾌적한 실내환경의 구현을 위해서는 인간이 가장 직접적으로 느끼는 실내의 기온, 습도, 기류 등과 같은 물리적인 환경과 인간의 주관적인 쾌적감과 의 상관관계를 밝혀내는 것이 매우 중요하다 [6,7].

밀폐된 좁은 공간에 다수의 승객이 체류하는 전동차의 경우 공조 상태를 쾌적하게 유지하는 데에는 많은 어려움이 있다. 전동차의 경우 승객의 안전을 위해 객실 창문의 개폐가 불가능하며 객실은 전체가 밀폐되어 자연환기가 아닌 기계환기로 공기질을 조절해야 하며, 조명에서 발생하는 대량의 열을 한정된 공간에 설치된 공조설비로 처리해야 한다. 특히, 출퇴근 시간에는 고속으로 신선한 공기를 차내로 공급해야 하므로 차가운 공기에 직접 접촉하게 되면 불쾌감이 생긴다. 여름철의 경우 냉방기 압축기를 가동하지 않을 때 냉방기 중 발기내에 부착된 물방울이 송풍에 의해 객차 내로 유입되는 문제점을 내포하고 있다. 전동차 내에서 인간이 느끼는 불쾌감은 온도, 습도 및 풍속 등의 환경에 의해 다양하게 변화된다. 사람이 쾌적하다고 느끼는 공간을 나타내는 인자는 다양하며, 이런 인자에는 측정이 불가능하거나 정량평가가 어려운 항목들도 다수 포함된다 [8].

본 연구에서는 전동차에서 실내쾌적성을 평가하기 위한 기초연구로서 비교적 정량화가 쉬운 온도와 습도를 대상으로 전동차 내에서 승객의 위치를 기준으로 0.7, 0.9, 1.2, 1.7 m의 높이에서 온도와 습도의 분포를 측정하고, 상용 코드인 Fluent를 이용한 3D 유동해석을 통해 전동차 내에서 온·습도 분포에 편차가 생기는 원인을 규명하고, 환기시스템의 문제점을 파악하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 측정대상

대부분의 실내공간에서 온도는 바닥으로부터 높아질수록 상승한다. 전신은 열적 중립 상태이더라도 온도 구배가 상당히 크면 국부 온 불쾌감이 머리 부분에서

생기고, 냉 불쾌감이 발 부근에서 생긴다. 실내 상하 온도차의 한계에 대해서 ISO 7730에서는 앉은 상태에서 발목 (바닥 위 10cm)과 머리 (바닥 위 110cm)의 온도차를 3 °C 이내로 유지할 것을 추천하고 있다. 반면 ANSI/ASHRAE 55-1992에서는 서 있는 상태에서의 발목 (바닥 위 10cm)과 머리 (바닥 위 170cm)의 온도차를 3 °C 이내로 유지할 것을 추천하고 있다 [9].

ANSI/ASHRAE 55-1992에서는 온열환경 수직 측정 위치를 지표면에서 0.1, 0.6, 1.1, 1.7 m 높이로 할 것을 추천하고 있으며, 여기서 0.1 m는 발목, 0.6 m는 착석 시 인체의 중심, 1.1 m는 착석시 인체의 머리, 1.7 m는 서있을 때의 머리 높이에 해당된다. 본 연구에서는 철도청 소속 4호선 전동차에 승객이 탑승했을 때의 높이를 실측하여 ANSI/ASHRAE 55-1992의 추천 높이를 약간 변경하고, 전동차의 구조상 측정이 어려운 0.1 m 높이를 제외한 지점에서 온도와 습도를 측정했다.

수직 온도 및 습도 분포 측정지점은 그림 1과 같이 0.7, 0.9, 1.2, 1.7 m로서 0.7 m는 착석시 인체의 무릎, 0.9 m는 착석시 인체의 중심, 1.2 m는 착석시 인체의 머리, 1.7 m는 서 있을 때의 머리에 해당되는 높이이다. 그림 2에 전동차 내에서의 수평 온도 및 습도 분포의 측정위치를 나타내었다. 전동차의 제원은 내부를 기준으로 길이가 18.9 m이고, 폭이 2.9 m로서 수평 온도 및 습도 측정지점은 세로축의 경우 전동차의 진행방향을 기준으로 6등분으로 나누어 0.48 m의 간격으로 5지점으로 하였다. 가로축은 총 길이인 18.9 m를 1.1 m 간격으로 나누어 6지점으로 하여 총 80지점을 선정하여 측정하였다.

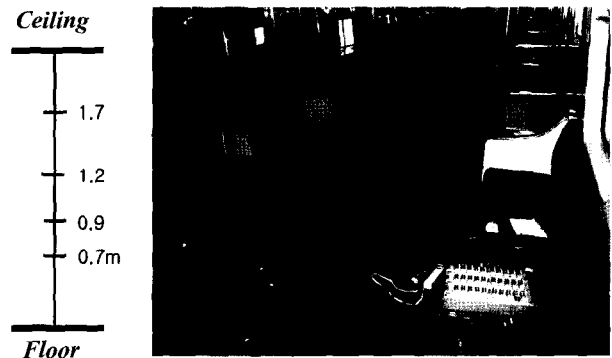


Fig. 1. Measured points of vertical temperature and humidity distributions in electric rolling stock.

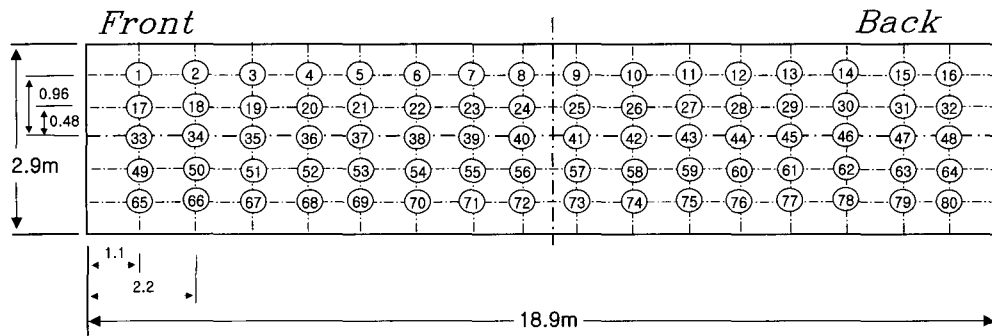


Fig. 2. Measured points of horizontal temperature and humidity distributions in electric rolling stock.

2.2 측정장치 및 방법

창문이 있는 실내공간은 복사열에 의해 온도분포에 많은 영향을 받으므로 전동차 내부의 온도 및 습도의 측정은 햇볕이 차단된 차고에서 수행하였다. 전동차 내부의 온도분포를 고르게 하기 위해 측정 시작 30분전 환기시스템을 정상 운행 상태로 가동하였다. 전동차내의 온도분포는 Datalogger (UCAM-20PC, Kyowa Co.)를 이용하여 Thermocouple 16개를 전동차의 가로 방향으로 설치하여 설치위치를 계속 이동하면서 한 지점에서 최소 5분간 측정하여 측정값을 평균하였다. 전동차내의 습도분포는 전기 커패시티 방식의 센서를 이용하여 온도분포 측정위치와 동일한 위치에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유동해석 경계조건 및 공조

전동차 내부의 유동해석에는 상용 열유체 해석 프로그램인 Fluent Ver. 6.0을, 격자의 구성에는 Gambit Ver. 2.0을 사용했다. 열전달을 동반하는 유체의 유동과 관련된 지배방정식으로 화학적 반응이 없는 경우는, 연속방정식, Navier-Stokes 방정식, 에너지방정식으로 구성되며, 각각 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho u_j = \dot{m} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) \\ &= - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_i + F_i \end{aligned} \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \left(\frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \right] + S \tag{3}$$

공기조화 시스템의 열유동 해석에는 내부 유동장 뿐만 아니라 창문 또는 지붕과 같이 복사열등도 변수로 등장하는 경우가 많으므로 열전도 문제도 함께 고려하여 해석해야 한다. 열생성 또는 소멸이 있는 경우, 고체벽면의 전도 열전달 방정식은 아래 식으로 주어진다.

$$\rho_w c_w \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_w \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q \tag{4}$$

한편, 전동차 내 공조시스템의 열유동 문제와 같이 해석 대상물의 형상이 복잡한 구조에서는 유동 형태가 일반적으로 난류이므로 레이놀즈 응력에 대한 적절한 모델링이 필요하다. 열유체 방정식은 식 (1)~(4)와 같이 비정상항, 대류항, 확산항 및 생성항으로 이루어져 있다. 이들 방정식은 일반 종속변수 ψ 에 대하여, 식 (5)로 나타낼 수 있으며, Γ , S 는 확산계수와 생성항이다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \psi) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \psi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \psi) + S \tag{5}$$

본 연구에서 유동해석은 난류 모델로 표준 k-ε 모델을, 벽면근처의 처리에는 standard wall function을 사용했다. 운동량 계산에는 Quick 기법을, 압력-속도 연성에는 SIMPLEC, 난류에너지 (turbulence kinetic energy), 소산율 (turbulence dissipation rate)의 계산에는 2차 상향차분법을 사용하였다. 완화계수 (under relaxation factor)는 압력의 경우 0.3, 운동량은 0.7, 난류에너지 및 소산율은 0.8로 정하여 계산을 수행하였다. 연속방정식 X, Y, Z 방향 속도, 난류에너지 및 소산율의 수렴판정조건은 10^{-3} 이며, 에너지 방정식은 10^{-6} 을 수렴조건으로 하였다 [10].

전동차의 용적은 133 m³이고, CO₂ 필요 환기량은 승객 160명을 기준으로 28.9 m³/min이고, 환기량은 31.6 m³/min으로 설정되어 있다. 전동차 공조의 특징은 공기 유입구가 좌우 대칭으로 2열로 구성되어 있다. 그리고, 두 곳의 리턴그릴이 있으며, 이곳을 통해 유입된 공기가 전부 배출된다. 배출공기의 70 %는 재순환되고, 30 %는 외기로 배기된다. 유입공기의 유속은 0.51 m/sec이며, 전동차 내부의 유속은 평균 약 0.2 m/sec로 계산되었다.

3.2 유동해석 결과

그림 3에 전동차의 유동해석에 사용된 계산모델을 나타내었다. 전동차 내부 공조기의 위치가 좌우 대칭이므로 유동을 해석하기 위해서 전체 객실의 1/2만 모델링하고, 경계조건으로 대칭 조건을 주었다. 모델링은 직교좌표계를 사용했으며, 계산 격자는 tetrahedral을 이용하여, 경계조건을 포함한 전체계산 셀의 수는 약 130,000개로 구성하였다. 유동해석은 74번의 반복계산을 거쳐 수렴하였으며, 계산수렴에 9시간 정도가 소요되었다. 표 1에 전동차 해석 경계조건을 나타내었다. 천장에 위치한 유입구에는 Velocity Inlet 조건을 주고, 유속은 0.51 m/sec, 온도는 10 °C, 난류강도는 10 %로 하였다. 리턴그릴(return grill)은 Out-flow로 외부압력(대기압)조건을 주었으며, 전체유량이 배출되게 하였다. 전동차 벽면은 Wall로 처리하고, 단열조건을 주었으며, 온도는 25 °C로 하였다.

유동해석 결과 전동차 중앙 통로 쪽으로 향하는 슬롯에 의해 유입된 공기는 중앙 통로로 하강하여 바닥을 거쳐 창문과 측면을 따라 상승하다가 천장의 리턴그릴로 순환되는 흐름을 보였다. 또 다른 슬롯에 의해 유입된 공기는 선반 쪽으로 향한 후 창문을 타고 내려

오다가 중앙으로의 순환을 보였다. 그림 4에 전동차 측면에서의 속도분포를 나타내었다. 그림 3의 전동차 계산모델에서 리턴그릴이 위치한 곳의 속도분포가 지배적인 것을 알 수 있었다. 그림 5에 전동차 수직 온도분포 측정위치별 (지표면에서 0.7, 0.9, 1.2, 1.7 m) 온도분포를 제시하였다. 그림에서 온도분포가 뚜렷하게 구분되는 것을 볼 수 있다. 이것은 리턴그릴에 의해 형성된 속도분포에 의해 다른 곳보다 다소 높은 공기가 배기 되면서 나타난 형상으로 보여지며, 온도분포도는 지표면에서 상층으로 올라갈수록 기온차이가 더 심해지는 것으로 나타났다.

3.3 온도분포

표 2에 전동차 내에서의 수직 및 수평 온도분포 측정결과를 나타내었다. 표에서 H는 전동차 바닥 면에서의 측정 높이를 의미하고, W는 전동차의 진행방향을 기준으로 가로축을 L은 1.1 m 간격으로 나눈 세로축을 의미한다. 그림 6 a)에 전동차 바닥 면에서 0.7 m 높이에서 측정된 온도의 분포를 2D로 도식화하였다.

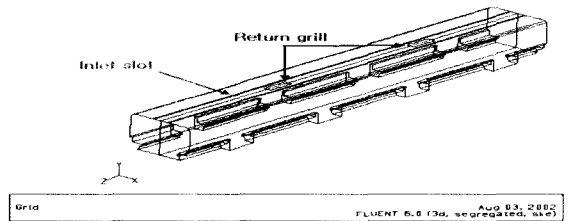


Fig. 3. Calculation model of electric rolling stock used in computational fluid dynamics.

Table 1. Boundary conditions of computational fluid dynamics in the electric rolling stock.

Boundary Conditions	Position	Values
Velocity Inlet	Ceiling	- Velocity : 0.51 m/sec - Temperature : 10 °C - Turbulence intensity : 10 %
Out-flow (Return grill)	Ceiling	- Out pressure (atmospheric pressure) - 100 % of flow
Wall	Train body	- Adiabatic condition - Temperature : 25 °C

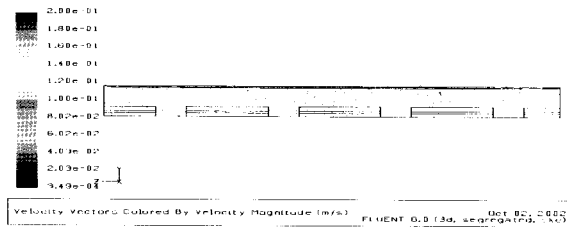


Fig. 4. Distributions of velocity vectors in calculation model.

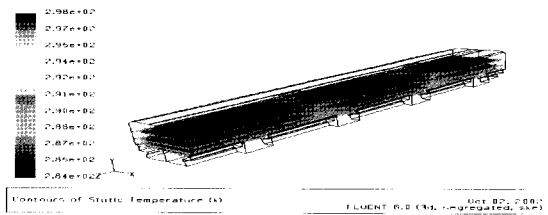


Fig. 5. Distributions of temperature at 0.7, 0.9, 1.2, 1.7 m heights in calculation model.

측정결과 0.7 m 높이에서 온도가 가장 높은 곳은 L=7.7 m, W=-0.48 m 지점이었으며, 온도가 가장 낮은 곳은 L=17.6 m, W=+0.48 m 지점인 것으로 조사되었다. 그림 6 b)는 0.9 m 높이에서의 온도분포 측정결과로서 그림 6 a)와는 다소 다른 분포 특성을 보이는 것으로 나타났다. 일정한 공간에서 온도가 높은 유체는 밀도가 낮아져서 공간의 상층부로 이동하고, 온도가 낮은 유체는 하층부로 이동하게 된다. 그러므로 전동차 내부에서 상층부로 이동한 공기는 리턴그릴에 의해 형성된 주변보다 빠른 기류에 의해 그릴 주변의 공기 온도를 상승시키게 된다. 그림 6의 온도분포 측정결과를 유동해석 결과인 그림 5와 비교해보면 온도분포 특성에 약간의 차이가 있는 것을 알 수 있다. 그림 6에서 최대 온도가 나타난 지점은 전동차 천장에 리턴그릴이 위치한 곳인 L=6과 7 사이이지만 전동차의 측면에서 볼 때 또 다른 리턴그릴이 위치한 대칭지점인 L=11과 12 사이에 고온의 온도분포가 형성되지 않았다. 전동차는 상부에 2대의 냉방기가 부착되어 천정의 Velocity Inlet으로 신선한 공기가 유입되며, 이때 양측으로 유입되는 공기의 량과 온도는 일정해야 한다. 그러나 측정결과 공급되는 외기의 온도에 편차가 있었다. 이것은 측정 대상 전동차의 환기용량의 불균형 때문으로 판단된다.

3.4 습도분포

표 3에 수직 및 수평 습도분포 측정결과를 나타내었다. 측정결과 착석시 인체의 머리 지점인 1.2 m 높이에서 비교적 높은 값을 나타내었다. 1.2m 높이에서 습도가 가장 높은 곳은 L=7.7 m, W=+0.48 m 지점과 L=16.5 m, W=Center, +0.48 m 지점이었으며, 가장 낮은 곳은 L=11.0 m, W=+0.96 m 지점인 것으로 조사되었다. 그림 7은 각 높이별 습도 분포를 2D로 도식화하여 나타낸 것이다. 습도는 측정높이에 관계없이 L=15m 지점에서 높은 분포를 나타내었다. 최대 습도를 나타낸 지점은 리턴그릴이 위치한 곳인 L=6에서 8 사이이지만 전동차의 측면에서 볼 때 또 다른 리턴그릴이 위치한 대칭지점인 L=11과 12 사이에 높은 습도분포가 형성되지 않았다. 이는 온도분포와 유사한 형태로 전동차의 환기용량의 불균형 때문으로 사료되며, 향후 이에 대한 보다 다양하고 많은 연구가 요구된다.

4. 결론

전동차 내에서 비교적 정량화가 용이한 온도와 습도를 대상으로 쾌적성을 평가하기 위한 기초연구를 수행하였다. 전동차 내부의 유동은 강제환기에 의존하므로 3D 전산유체해석 프로그램으로 전동차 내부의 환기특성과 유동을 파악하였다. 해석결과 전동차 내부의 유동은 천정의 리턴그릴에 의해 지배되며, 리턴그릴에 의해 형성된 속도분포로 주변보다 다소 온도가 높은 공기가 배기 되면서 전동차 내부의 온도분포에 불균형이 발생하는 것으로 나타났다. 온도분포는 지표면에서 상층으로 올라갈수록 온도의 차이가 더 심해지는 것으로 조사되었다.

탑승 승객의 위치를 기준으로 0.7, 0.9, 1.2, 1.7 m의 높이에서 온도분포 측정결과를 유동해석 결과와 비교해보면 온도분포 특성에 약간의 차이가 있는 것을 알 수 있었다. 이것은 측정 대상 전동차로 유입되는 공기의 분포가 불균일하기 때문으로 판단되며, 습도분포 역시 온도분포와 유사하게 전동차 내에 장착된 공조시스템의 설치위치와 덕트 형상 등 여러 요인에 의해 불균형이 나타난 것으로 사료되어 진다.

본 연구는 전동차 내부의 쾌적성을 평가하기 위한 기초연구로서 연구결과가 전동차 내부의 쾌적성을 향상시키는데 조금이나마 기여할 수 있기를 기대한다.

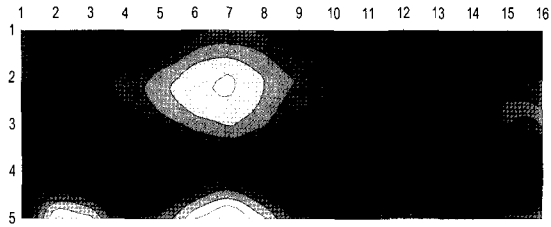
Table 2. Vertical and horizontal distributions of temperature in electric rolling stock.
(H, L, W=m, Temperature : °C)

H* \ W*		L*																
		1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	9.9	11.0	12.1	13.2	14.3	15.4	16.5	17.6	
H =0.7	W	-0.96	20.5	18.8	18.3	17.6	18.9	20.3	20.5	20.4	19.7	20.4	19.3	18.1	17.7	18.1	18.2	18.5
		-0.48	20.2	20.3	20.5	20.9	21.4	21.9	22.1	21.5	21.0	20.9	19.9	19.3	19.5	19.7	20.1	20.0
		Center	19.7	19.0	19.2	19.8	20.7	21.3	21.6	21.1	20.2	19.9	18.9	19.0	19.7	20.2	20.6	20.6
		+0.48	19.5	19.2	18.8	18.2	19.2	19.5	20.1	19.4	19.5	19.9	19.5	19.7	19.2	18.1	17.9	17.5
		+0.96	19.2	22.2	21.7	19.9	20.7	22.0	22.9	21.6	20.3	19.8	20.1	20.6	19.0	19.2	20.3	20.6
H =0.9	W	-0.96	20.1	19.3	19.1	18.8	20.0	20.5	21.1	21.0	20.1	19.9	18.8	18.6	18.7	19.0	19.4	18.9
		-0.48	19.4	20.2	20.0	19.9	19.7	19.6	19.4	19.4	19.4	19.7	19.3	19.7	18.9	17.9	17.4	17.1
		Center	17.8	19.4	19.8	20.0	20.3	20.0	19.7	19.2	18.6	19.5	19.2	20.5	20.4	19.0	18.0	17.0
		+0.48	20.0	20.3	20.8	21.6	22.0	22.4	22.4	21.6	20.4	20.0	19.4	20.3	21.2	21.4	21.2	20.3
		+0.96	20.3	20.0	19.9	19.5	20.3	20.7	20.9	20.8	20.1	19.8	19.0	18.4	17.9	18.0	18.0	18.5
H =1.2	W	-0.96	19.7	21.6	21.8	21.5	21.0	20.8	20.8	20.6	20.7	21.0	20.7	20.8	20.2	19.4	19.1	18.6
		-0.48	20.0	19.4	19.8	20.7	21.7	22.2	22.3	21.9	21.3	20.9	20.0	19.6	20.0	20.2	20.3	20.1
		Center	19.5	19.8	20.3	21.0	21.5	21.6	21.5	21.1	20.0	19.9	19.6	20.0	20.3	20.2	19.6	19.4
		+0.48	17.6	17.8	18.4	19.3	20.2	20.6	20.8	20.1	19.0	18.4	17.5	18.5	19.7	19.9	19.4	18.6
		+0.96	20.2	20.3	20.1	19.8	20.6	20.9	21.5	21.1	20.5	21.3	20.7	19.9	19.7	18.9	19.4	19.5
H =1.7	W	-0.96	20.4	22.6	22.6	22.0	22.1	20.2	19.8	19.5	19.3	20.2	20.8	21.9	21.2	19.5	18.3	17.0
		-0.48	19.1	18.8	18.8	19.6	19.8	20.2	20.3	20.2	19.2	19.3	18.6	18.1	18.5	18.3	18.4	18.4
		Center	17.0	17.7	18.4	19.0	20.3	20.6	20.4	20.2	18.9	19.2	18.1	18.3	18.8	18.5	18.0	18.1
		+0.48	20.1	20.1	20.1	20.8	21.6	21.5	21.7	21.5	20.8	20.7	20.2	20.6	20.5	19.9	19.4	18.6
		+0.96	19.8	20.9	20.7	21.5	21.4	21.5	21.5	21.0	20.9	20.5	19.8	19.6	19.8	19.8	19.9	18.8

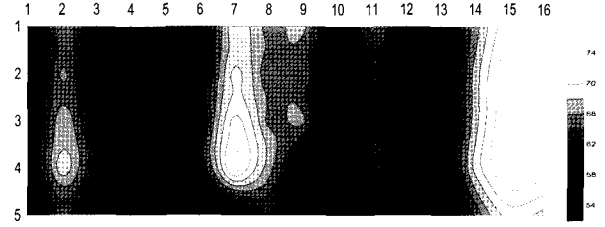
Table 3. Vertical and horizontal distributions of humidity in electric rolling stock.
(H, L, W=m, Humidity : %)

H* \ W*		L*																
		1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	9.9	11.0	12.1	13.2	14.3	15.4	16.5	17.6	
H =0.7	W	-0.96	56	68	61	60	61	60	72	67	69	58	67	60	58	67	74	74
		-0.48	55	69	60	61	60	61	73	66	68	57	65	58	58	69	76	75
		Center	57	70	61	62	61	62	75	67	69	55	65	58	58	69	76	75
		+0.48	59	72	64	64	64	64	78	69	61	57	66	60	60	71	77	75
		+0.96	53	65	57	57	57	57	57	64	57	52	62	55	55	64	71	69
H =0.9	W	-0.96	57	69	64	63	64	63	72	65	58	59	67	60	59	68	75	73
		-0.48	57	70	63	63	63	63	74	65	58	59	65	58	60	70	77	73
		Center	58	71	64	64	64	64	75	66	59	58	65	58	60	71	77	73
		+0.48	60	73	67	67	67	67	78	68	61	58	66	60	61	72	78	74
		+0.96	54	66	58	58	58	58	70	62	56	52	62	55	55	66	72	68
H =1.2	W	-0.96	60	70	59	65	59	65	73	64	57	60	66	71	61	70	75	71
		-0.48	61	71	58	65	58	65	73	64	56	61	65	72	62	71	77	72
		Center	62	72	58	60	58	66	75	64	56	60	65	72	62	72	78	72
		+0.48	64	74	61	69	61	69	78	67	60	61	66	73	62	72	78	73
		+0.96	57	66	55	62	55	62	71	60	58	54	61	67	56	67	72	67
H =1.7	W	-0.96	62	73	56	67	56	67	72	63	57	61	65	70	63	72	75	70
		-0.48	62	73	57	67	57	67	72	63	56	62	64	70	64	74	76	71
		Center	64	74	57	68	57	68	74	63	56	63	64	71	65	75	77	71
		+0.48	67	77	59	71	59	71	76	65	59	64	65	72	66	76	77	71
		+0.96	60	71	52	64	52	64	70	60	55	57	59	66	60	69	71	66

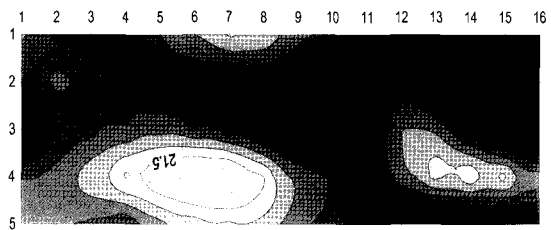
* H = height, L = length, W = wide



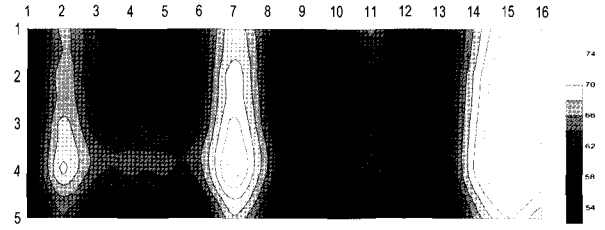
a) 0.7 m above from the floor.



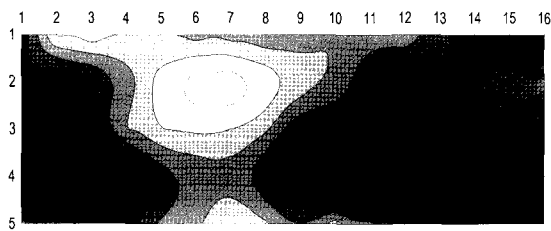
a) 0.7 m above from the floor.



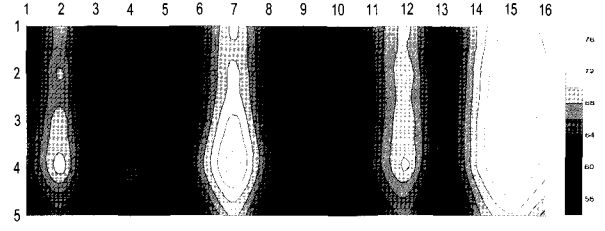
b) 0.9 m above from the floor.



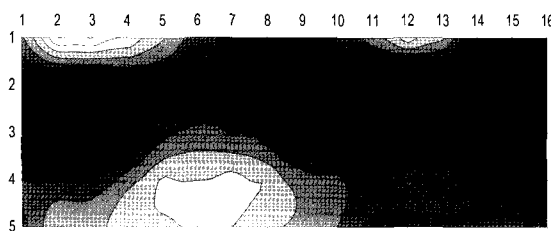
b) 0.9 m above from the floor.



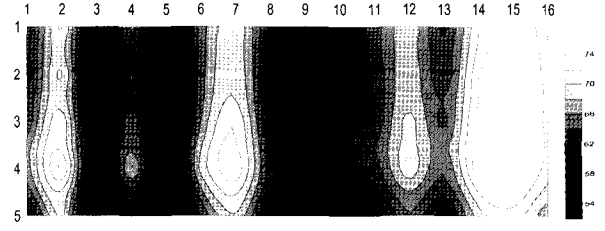
c) 1.2 m above from the floor.



c) 1.2 m above from the floor.



d) 1.7 m above from the floor.



d) 1.7 m above from the floor.

Fig. 6. Contour distributions of temperature at 0.7, 0.9, 1.2, 1.7 m heights in calculation model.

Fig. 7. Contour distributions of humidity at 0.7, 0.9, 1.2, 1.7 m heights in calculation model.

참고문헌

- [1] 김윤신 (1999) 실내공기질 연구의 현황과 전망, 한국대기 환경학회지 15(4), 371-383.
- [2] 송희봉, 민경섭, 한개희, 김종우, 백성욱 (1995) 대구지역 공중이용시설의 실내·외 공기중 기준성 오염물질의 농도, 대한환경공학회, 추계학술연구발표회 논문초록집, 340-343.
- [3] 최익순, 정광섭, 박영칠, 한화택, 이정재 (2001) PMV 지표에 의한 개별 공조시스템(PACS)의 쾌적성 평가에 관한 연구, 설비공학 논문집 13(7), 647-652.
- [4] 최익순, 정광섭, 박영칠, 한화택, 이정재 (2001) 개별공조시스템(PACS)을 적용한 작업공간에서의 온열환경 특성 및 쾌적성 평가, 설비공학논문집 13(2), 106-114.
- [5] Melikov, A.K., U. Kruger, G. Zhou, T. L. Madsen and G. Langkilde (1997) Air Temperature Fluctuations in Rooms, *Building and Environment*, 32(2), 101-114.
- [6] 이철희, 배귀남, 최항철, 이춘식 (1994) 여름철 사무실내 온열환경 특성 및 쾌적성 평가, 공기조화·냉동공학 논문집 6(9), 206-217.
- [7] 조용, 권혁승, 김성현, 김영일 (2000) 사무실 공간의 냉방시 천장 및 바닥 급기 공조 방식에 따른 열환경 평가 실험, 설비공학 논문집 12(9), 810-816.
- [8] Hiroyuki, T., M. Ishizaki, Y. Hirota, J. Hiram and K. Nagase (1998) A Study on Evaluation of Comfortableness in Passenger Room of Trains, *J-Rail '98*, 393-396.
- [9] 한국철도기술연구원 (2002) 실내 쾌적성 향상 기술 개발, 철도청, 52-59.
- [10] 한국철도기술연구원 (2002) 객실 실내 공기질 향상 방안에 관한 연구, 철도청, 42-84.