

자동차 실내 환경에 관한 수치적 연구

전 회 호, 고 석 보, 이 금 배*

공주대학교 기계공학과 대학원, *공주대학교 기계자동차공학부

A Numerical Study on Automobile Interior Environment

Hee-Ho Jeon, Seok-Bo Ko, Kum-Bae Lee**

Graduate School Department of Mechanical Engineering, Kongju National University, Gongju-si 314-701, Korea

*Department of Mechanical Automotive Engineering, Kongju National University, Gongju-si 314-701, Korea

(Received July 31, 2006; revision received November 22, 2006)

ABSTRACT: The latest cars give much importance in the role of HVAC system that controls the environment of the area for passengers more than just basic capability. In this study, we drew the automobile interior as three dimension and arranged a method of numerical analysis on HVAC environment in the automobile interior displaying air current distribution and temperature distribution through simulation of the automobile interior on the ventilation volume and outlet area. The aim of this study is to develop the estimated method for HVAC environment in the automobile interior. Results of numerical analysis, to cool automobile interior needs more considerations if thinking cheerful surroundings of automobile interior air but the more magnitude of outlet is small, the more cooling capability is excellent and realistic countermeasures about a realistic geometry and boundary condition.

Key words: Automobile interior(자동차 실내), HVAC system(공조시스템), Cooling capability(냉방성능), Numerical analysis(수치해석)

1. 서 론

자동차 문화는 우리의 생활수준의 향상과 더불어 우리생활과 매우 밀접한 관계를 유지하고 있으며, 현대인들은 일상생활에서 자동차에서 보내는 시간이 점점 더 길어지고 있다. 이러한 생활속에서 운전자와 승객은 편리함을 더해 주는 단순한 교통수단의 범위에서 벗어나 우리의 주거문화와 함께 편안함을 느낄 수 있는 자동차 실내 환경을 조성하는 일이 필요하다고 느끼며, 이 필요성은 점점 증대되고 있다.^(1,2)

최근 자동차들은 기본성능보다는 탑승자가 활동하는 영역의 환경을 조절하는 공기조화시스템의 역할이 더욱 중요시되고 있으며, 자동차 공조 환경에 영향을 미치는 요소로는 태양복사열, 표면온도, 냉방시스템(온도, 습도, 기류, 속도) 및 먼지 등이 있으며,^(3,4) 공기조화시스템은 최적의 풍량, 온도 및 습도의 맑은 공기를 자동차 실내에 공급한다. 이와 같은 여러 가지 요소를 고려하여 CFD를 이용하여 공조시스템 개발의 연구가 활발히 진행되고 있다.

Lee and Yoo⁽⁵⁾는 3차원 CFD 코드를 이용하여 공조시스템에 대한 시료코펜에서의 유동특성과 히터유닛에서의 토출 공기유동과 열적거동에 대하여 해석하였다. Cho et al.⁽⁶⁾은 차량 실내의 냉방 과정에서 성능을 시뮬레이션할 수 있는 시뮬레이

† Corresponding author

Tel.: +82-41-850-8512; fax: +82-41-854-1449

E-mail address: kumbae@kongju.ac.kr

선 모델을 개발하고 시험값과 비교하여 프로그램의 타당성을 검증한 후 설계 변수에 대한 특성을 연구하였다. Moh and Lee⁽⁷⁾는 강제배기의 유무에 따른 2차원으로 자동차 실내의 유동장과 온도장에 대해서 연구하였다.

자동차 실내의 열쾌적성 개선은 자동차업체의 최대관심사 중의 하나이며, 공기조화시스템 제조업체의 경우 상기내용을 만족시키기 위한 기술적 대안모색이 필요하고, 공기조화시스템 조건개선 및 진단도구개발을 통한 향후 기술수요에 전략적 대응이 필요하다.

본 연구에서는 자동차 내부의 환기량과 출구크기에 따른 3차원의 수치해석을 통하여 기류분포 및 온도분포의 결과를 얻었으며, 이를 통하여 차량 실내 공조환경에 대한 예측기법을 개발하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 해석모델 및 격자

차량 실내 공조환경에 대하여 수치모사를 하기 위해서는 실제 자동차 형상 및 공조시스템에 대한 자료가 필요하다. 하지만 자동차 형상의 경우 자동차 업체에서도 비밀로 전해지고 있다. 따라서 자동차 캐빈 내부 형상을 직접 CATIA를 사용하여 3차원으로 그렸다. 해석대상은 승용차 모델로서 Fig. 1과 같으며, 내부에는 운전자를 포함

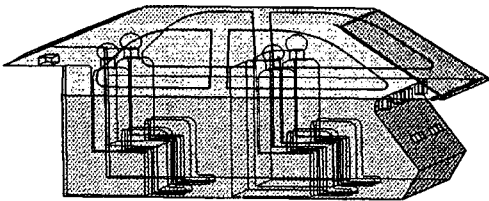


Fig. 1 Geometry of automobile interior model.



Fig. 2 Grid of automobile interior model.

하여 4명이 타고 있는 상태이다. 자동차 실내의 환기모드에는 크게 DEF, FOOT, FACE 모드가 있는데 여기서는 FACE 모드에 대하여 해석을 수행하였다. FACE 모드에서 공기의 입구는 4개이며, 각각의 단면적은 0.008 m²이다. 출구는 1개이며, 단면적은 입구 1개의 단면적의 0.5배, 1배, 2배의 크기로 설정하여 수치해석을 수행하였다. 격자는 Sc/Tetra mesh를 사용하였고, 격자수는 약 100만개이며, Fig. 2는 격자모습을 보여주고 있다.

2.2 지배방정식

차량 실내 환경 수치모사에 사용된 모델은 3차원 형상이고, 비압축성 유동이며, 물성치는 일정하다는 가정 하에 지배방정식을 정리하면 다음과 같다.⁽⁸⁾

질량방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

운동량방정식

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho g_i \beta (T - T_0) \quad (2)$$

여기서

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_1 + \mu_t \\ \mu_1 &= \text{상수} : \text{층류점성계수} \\ \mu_t &= C_t \rho \frac{k^2}{\epsilon} : \text{난류점성계수} \end{aligned}$$

에너지방정식

$$\frac{\partial \rho C_p T}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho C_p T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} k \frac{\partial T}{\partial x_j} + \dot{q} \quad (3)$$

난류유동을 해석하기 위하여 표준 k-ε 모델을 사용하였고, 지배방정식은 다음과 같다.

난류에너지방정식

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_K} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_s + G_t - \rho \epsilon \quad (4)$$

난류에너지 소산율방정식

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_S + G_T) (1 + C_3 R_f) - C_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k} \quad (5)$$

여기서

$$G_S = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad G_T = g_i \beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i}$$

$$R_f = - \frac{G_T}{G_S + G_T}, \quad \mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon}$$

$$\sigma_k = 1, \quad \sigma_\epsilon = 1.3, \quad \sigma_t = 0.9$$

$$C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad C_3 = 0.0, \quad C_\mu = 0.09$$

2.3 수치해석방법

본 연구에서는 열·유체 해석프로그램인 SC/Tetra V5를 사용하였다.

첫째 입구 1개의 유량 20 m³/h 기준으로 입구 단면적 0.008 m²에 대한 평균 속도 0.7 m/s와 유량 100 m³/h에 대한 평균 속도 3.47 m/s를 입구조건으로 설정하였고, 출구에서는 출구 단면적 0.008 m², 시간에 따라 압력구배와 속도구배는 0인 조건을 설정하였다. 온도조건은 여름철 냉방덕트에서 불어나오는 에어컨의 바람을 고려하여 입구에서 15℃로 설정하였다.

두번째로 입구조건 및 출구조건은 첫번째의 입구조건과 동일하지만, 단지 출구 단면적은 입구 단면적 크기의 0.5배(0.004 m²), 1배(0.008 m²), 2배(0.016 m²)의 크기로 하였다.

여름철 자동차의 실내는 태양 복사열에 의해서 유리창을 통하여 상당히 데워진다. 본 연구에서는

데워진 상태에서의 공기온도 65℃를 초기온도로 설정하였고, surface-to-surface 복사열전달이고, view factor는 소프트웨어가 자동으로 계산하게끔 설정하였다. 태양복사물성치는 SC/Tetra에 주어진 Default 값인 9월달 도쿄에서의 태양상수 1,330 W/m²s, 대기투과율 0.7이고, 날씨는 아주 맑은 상태이며, 시간은 14시를 사용하였다. 그리고 벽 조건으로 유리창의 열전도율을 1.4 W/m²K, 투과율 0.7이고, 자동차 천정부분의 열전도율을 8.58 W/m²K, 자동차 차체에서 천정부분을 제외한 부분과 그 외 나머지 모든 부분은 단열조건으로 설정하였다. 위에서 기술한 내용은 Table 1에 정리하여 제시하였다.

3. 수치해석결과 및 분석

3.1 입구속도에 따른 자동차 실내 환경

Fig.3과 Fig.4는 출구면적이 0.008 m²이고, 입구의 속도가 0.7 m/s와 3.47 m/s일 때의 Y축으로 0.32 m(보조석 중앙) 떨어진 위치에 5분 후 기류

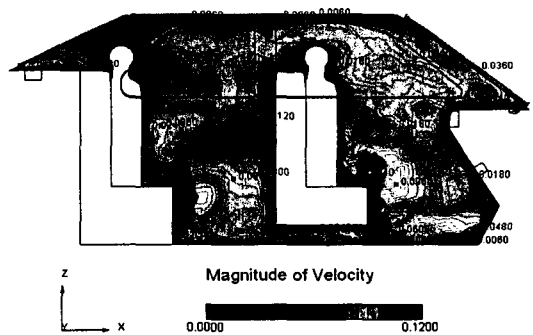


Fig. 3 Magnitude of velocity at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.008 m².

Table 1 Given conditions and initial conditions

Inlet and outlet area		Inlet cond		Outlet cond.	Initial cond [°C]
Inlet (ea)	Outlet (ea)	Velocity [m/s]	Temperature [°C]		
0.008 m ²	0.004 m ²	0.7	15	Static pressure	65
		3.47			
0.008 m ²	0.008 m ²	0.7	15	Static pressure	65
		3.47			
0.008 m ²	0.016 m ²	0.7	15	Static pressure	65
		3.47			

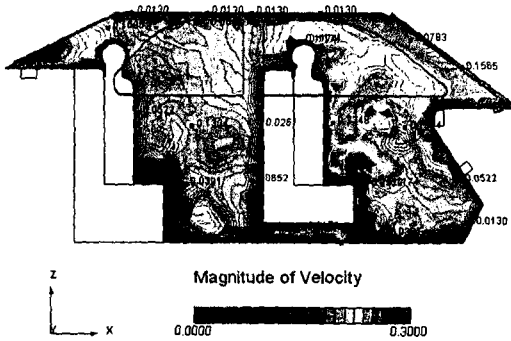


Fig. 4 Magnitude of velocity at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.008 m².

속도 크기를 보여준다. Fig. 3은 입구에서의 속도가 작아 자동차 실내의 기류의 속도 또한 전반적으로 작지만, 앞사람의 무릎 아래로 기류의 속도 분포는 크게 나타났다. Fig. 4는 입구에서의 속도가 커 속도가 작을 때와 반대로 앞사람의 무릎 위로 속도분포가 크게 나타났으며, 이 흐름은 뒷사람까지 영향을 미치고 있다. 하지만 입구속도에 비해 사람 주위에서 바람의 속도는 약 0.2m/s 정도로 작게 나타나고 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 출구면적이 0.008m²이고, 입

구의 속도가 0.7 m/s일 때의 Y축으로 0.65 m(자동차 실내 중앙), 0.32 m(보조석 중앙) 떨어진 위치에서 5분 후 기류속도 벡터를 보여주고 있다. Fig. 5에서 자동차 실내 중앙에서는 입구에서 기류의 속도가 작아, 기류는 자동차 하부로 흐르다가 뒷좌석에 부딪쳐서 일부는 출구로 배출되고, 일부는 자동차 앞 유리창까지 흐르면서 순환한다. Fig. 6에서 앞사람의 가슴 위에서는 뒷좌석 쪽으로 그대로 흘러가고, 가슴 아래에서는 일부는 부딪히고, 일부는 좌석 아래로 흐르며, 일부는 입구 쪽으로 흐르다가 입구에서 불어나오는 기류에 합류한다.

Fig. 7과 Fig. 8은 출구면적이 0.008m²이고, 입구의 속도가 3.47 m/s일 때의 Y축으로 0.65 m(자동차 실내 중앙), 0.32 m(보조석 중앙) 떨어진 위치에서 5분 후 기류속도 벡터를 보여주고 있다. Fig. 7에서는 자동차 실내 중앙에서는 입구에서 불어나오는 기류는 일부는 그대로 출구로 흘러나가고, 일부는 뒷좌석 하부에 부딪쳐서 앞좌석으로 흘러 다시 입구에서의 기류와 합류하며, 사람의 가슴을 경계로 2군데의 순환영역으로 나누어짐을 알 수 있다. Fig. 8에서는 앞사람에 부딪쳐서 자동차 앞부분에서 순환하게 되고, 중앙에

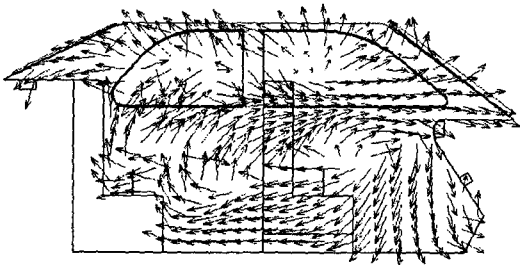


Fig. 5 Velocity vector at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.65 m, outlet area=0.008 m².

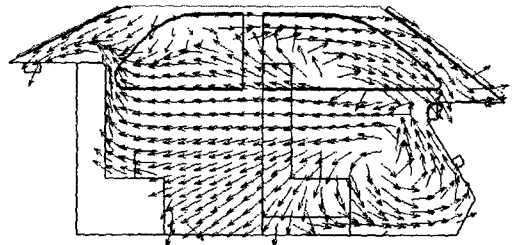


Fig. 7 Velocity vector at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.65 m, outlet area=0.008 m².

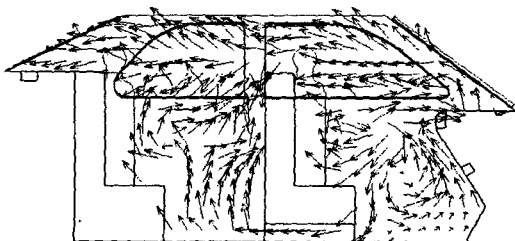


Fig. 6 Velocity vector at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.008 m².

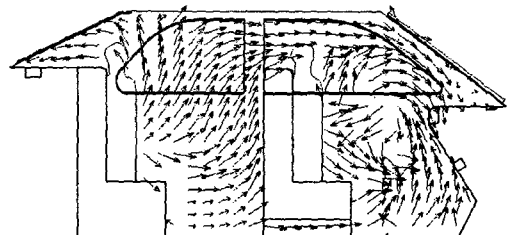


Fig. 8 Velocity vector at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.008 m².

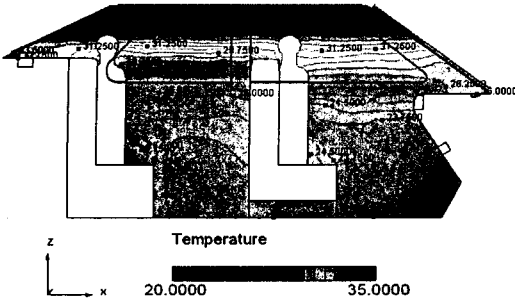


Fig. 9 Temperature contour at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.008 m².

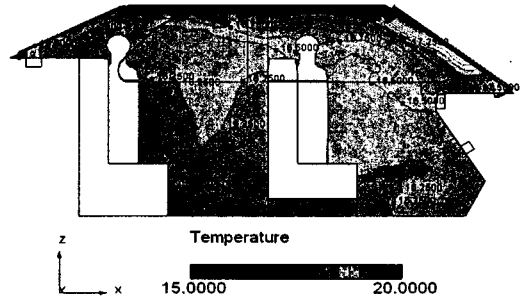


Fig. 11 Temperature contour at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.008 m².

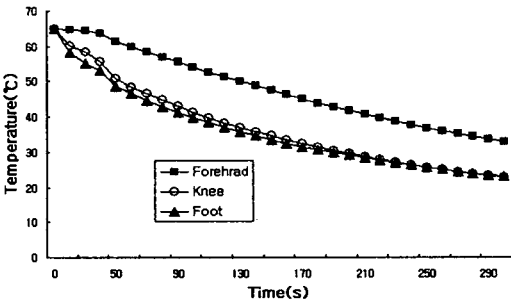


Fig. 10 Temperature magnitude on the forehead, knee and foot.

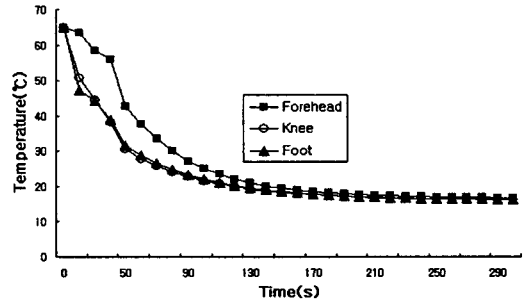


Fig. 12 Temperature magnitude on the forehead, knee and foot.

서의 기류에 영향을 받아 뒷사람에게 부딪쳐서 일부는 앞좌석 아래로 일부는 앞사람의 머리 위로 흐르는데 이는 중앙에서 자동차 상부의 기류에 영향을 주게 된다.

Moh and Lee⁽⁷⁾에서는 앞좌석과 뒷좌석에서 순환영역이 생기지만, 앞좌석에서 더 크게 나타난 것이 Figs. 7~8의 결과와 비슷하다.

Fig. 9와 Fig. 10은 출구면적이 0.008 m²이고, 입구의 속도가 0.7 m/s일 때 보조석 중앙 위치에서의 온도분포를 보여주고 있다. Fig. 9에서는 유리창을 통해 열전달 되는 태양 복사와 유리창과 자동차 차체에서의 전도에 의해 자동차 실내 상부의 온도가 높고, 입구속도가 낮아 앞좌석 아래가 가장 낮은 온도분포를 나타내고 있다. Fig. 10에서 이마, 무릎, 발 부분에서는 시간에 따라 비슷한 온도분포도를 보여주고 있으나, 무릎과 발에서는 온도크기가 거의 비슷하나, 이마에서는 조금 크게 나타나고 있다.

Fig. 11과 Fig. 12는 출구면적이 0.008 m²이고, 입구의 속도가 3.47 m/s일 때 보조석 중앙위치에

서의 온도분포를 보여주고 있다. Fig. 11에서는 복사와 전도에 의해 자동차 실내 상부의 온도가 조금 높게 나타났고, 그 외 지역에서는 입구속도가 커 전체적으로 고른 온도분포를 나타내고 있다. Fig. 12에서 무릎과 발부분에서는 시간에 따라 온도분포가 속도가 작을 때와 마찬가지로 비슷하게 나타났고, 3분 후 3곳에서의 온도가 17~18°C 정도로 비슷한 온도크기를 보여주고 있다.

Moh and Lee⁽⁷⁾의 연구에서 자동차 실내의 온도장과 비교해 보면, 초기에는 자동차 실내 하부에서 낮은 값이 상부에서 높은 값이 나타났고, 시간이 지날수록 자동차 실내의 온도가 입구에서의 설정온도와 비슷하게 나타나는 면에서 비슷한 결과가 나타났다.

3.2 출구크기에 따른 자동차 실내 환경

Figs. 13~14는 출구면적이 0.004 m²이고, Figs. 15~16은 출구면적이 0.016 m²이며, 입구의 속도가 0.7 m/s일 때, 보조석 중앙위치에서 온도분포

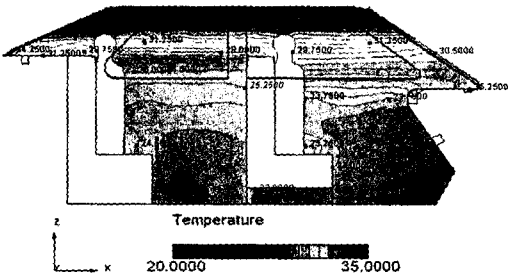


Fig. 13 Temperature contour at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.004 m².

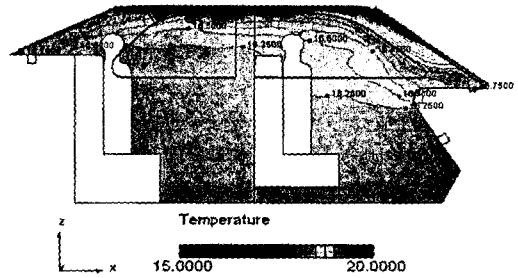


Fig. 17 Temperature contour at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.004 m².

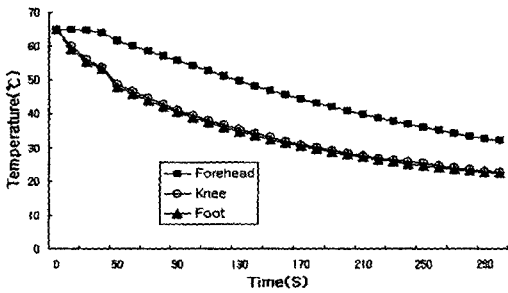


Fig. 14 Temperature magnitude on the forehead, knee and foot.

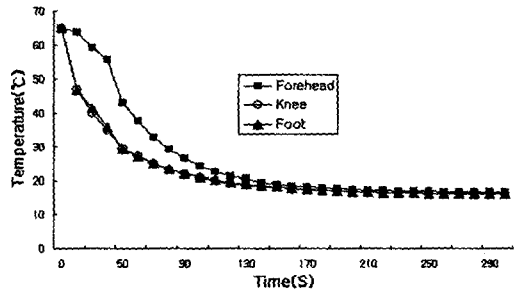


Fig. 18 Temperature magnitude on the forehead, knee and foot.

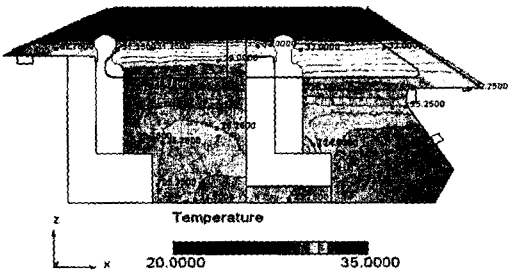


Fig. 15 Temperature contour at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.016m².

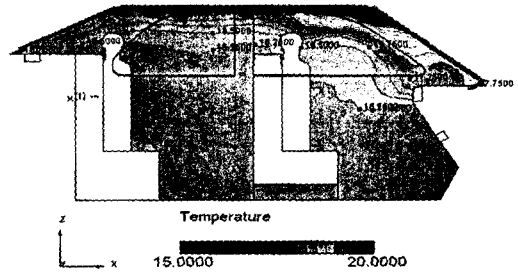


Fig. 19 Temperature contour at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.32 m, outlet area=0.016 m².

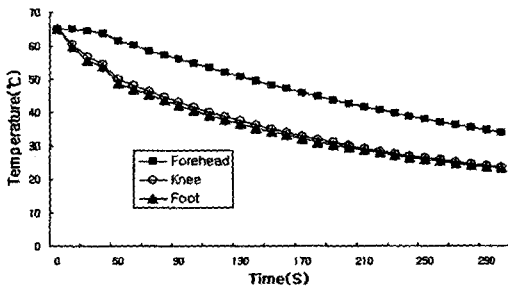


Fig. 16 Temperature magnitude on the forehead, knee and foot.

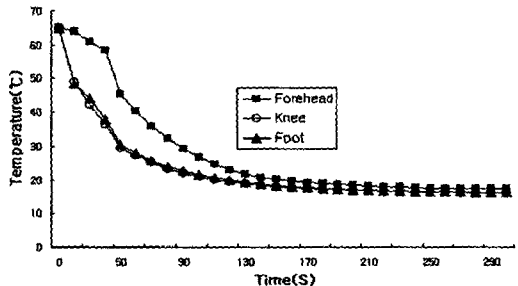


Fig. 20 Temperature magnitude on the forehead, knee and foot.

를 보여주고 있다. 2개의 출구크기에 의한 결과를 비교해 보면, 입구속도가 작은 경우와 출구의 크기가 작은 경우 전체적으로 낮은 온도분포를 나타내고 있다. 그 이유는 출구크기가 작으면 순환되는 양이 많아지기 때문이다. Fig. 14와 Fig. 16에서 시간에 따른 이마, 무릎, 발부분에서의 온도분포를 비교해 보면, 시간에 따라서 세 곳 모두 비슷한 온도 변화율을 보여주고 있으며, 출구크기가 작은 경우 1~1.8℃ 정도의 차이로 낮은 온도값이 나타났다.

Figs. 17~18은 출구면적이 0.004 m²이고, Figs. 19~20은 출구면적이 0.016 m²이며, 입구의 속도가 3.47 m/s일 때, 보조석 중앙위치에서 온도분포를 보여주고 있다. 2개의 경우 모두 비슷한 온도분포를 보여주고 있다. Fig. 18과 Fig. 20에서 시간에 따른 이마, 무릎, 발부분에서의 온도크기를 비교해 보면, 무릎과 발부분에서는 비슷한 온도크기를 나타냈지만, 이마 부분에서 약 1℃ 정도의 차이로 출구크기가 작을수록 낮은 온도값이 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 차량실내에서 3차원의 기류분포 및 온도분포의 값을 얻었으며, 결과분석을 통한 결론은 다음과 같다.

(1) 기류속도는 입구의 속도가 작은 경우는 앞사람의 무릎 아래쪽으로 기류속도가 크게 나타나고, 입구의 속도가 큰 경우는 앞사람의 무릎 위쪽으로 크게 나타났다.

(2) 유동장은 입구속도가 작은 경우 앞사람 좌석 밑을 지나 뒷좌석에 부딪쳐서 다시 앞사람 쪽으로 순환하고, 입구속도가 큰 경우 앞사람의 가슴을 경계로 위쪽과 아래쪽의 두부분으로 순환영역이 나뉘어졌다.

(3) 온도분포는 유리창을 통해 열전달되는 태양복사와 자동차 차체와 유리창의 전도에 의해서 상부에서 온도가 높게 나타났고, 입구에서의 냉풍에 의해 앞쪽의 온도가 낮게 나타났다. 입구속도가 작은 경우 출구의 크기가 작을수록 자동차 실내 하부에서 기류순환이 더 활발하여 낮은 온도분포가 나타났고, 입구속도가 큰 경우 자동차 실내 상부에서 출구크기가 작을수록 낮은 온도분포가 나타났다.

(4) 자동차 실내를 냉방시키기 위해서는 출구크기가 작을수록 성능이 우수하나, 실내 공기의 쾌적성 등을 생각한다면 보다 많은 고려가 필요하며, 실질적인 형상 및 경계조건에 대한 보다 더 현실적인 대응이 필요하다고 생각된다.

본 논문은 자동차 실내 형상설계와 공조시스템의 설계에 있어서 기초적 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2005년도 지방대학 혁신역량 강화사업(NURI)의 『충남 자동차·부품산업 인력양성사업』 중 “산학공동연구” 과제사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Park, C. H., The developmental trend of automotive air conditioning system, Magazine of the SAREK, Vol. 29, No. 10, pp. 14-19.
2. Kim, H. G., The comprehension of automotive air conditioning system, Magazine of the SAREK, Vol. 29, No. 10, pp. 20-27.
3. Kim, C. W., 1993, Automobile air conditioner, Jungweon Publishing Co.
4. Kang, J. G., Park, J. L. and Jang, I. S., 1999, Automobile Air Conditioner, Taehoon Publishing Co.
5. Lee, D. W. and Yoo, S. Y., 2003, A study on numerical performance analysis of automotive HVAC System, SAREK 2003 Summer Annual Conference, pp. 620-625.
6. Cho, Y. D., Si, J. M., Lee, M. J. and Han, C. S., 2003, Development of automotive cool-down performance simulation program, SAREK 2003 Summer Annual Conference, pp. 632-641.
7. Moh, J. H. and Lee, S. H., 2005, Flow and heat transfer analysis for the ventilating system in automobile interior with a forced exhaust, KSME, Vol. 29, No. 4, pp. 469-476.
8. SC/Tetra V5 User's Guide.