대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집 pp.325~330

06-S-051

자동차 실내 환경에 관한 수치적 연구

이 금 배†, 전 희 호*, 고 석 보*

공주대학교 기계자동차공학부, *공주대학교 기계공학과 대학원

A Numerical Study on Automobile Interior Environment

Kum-Bae Lee†, Hee-Ho Jean*, Seok-Bo Ko*,

ABSTRACT: Modern people spend more and more time in an automobile in their daily life. In this life, drivers and passengers should create HVAC environment in the automobile interior which is not only for convenient transportation but also give comfortable feeling with dwelling culture. Also, the latest cars give much importance for the role of HVAC system that controls the environment of the area for passengers more than just basic capability. There are solar radiant heat, surface temperature, refrigeration system(temperature, humidity, air current, velocity), and dust for the factor which have an effect on the HVAC environment in the automobile interior, also these are being carried for the HVAC environment delivered an individual character.

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

Key words: Automobile interior environment(자동차 실내 환경), HVAC system(공조시스템), Ventilation (환기)

1. 서 론

자동차 문화는 우리의 생활수준의 향상과 더불어 우리생활과 매우 밀접한 관계를 유지하고 있으며, 현대인들은 일상생활 중 자동차에서 보내는 시간이 점점 더 길어지고 있다. 이러한 생활속에서 운전자와 승객들은 편리함을 더해 주는 단순한 교통수단의 범위에서 벗어나 우리의 주거문화와 함께 편안함을 느낄 수 있는 자동차 실내환경을 개선하는 일이 더욱 필요하다고 생각하며, 이 필요성은 점점 증대되고 있다.[1,2]

최근의 생산되는 자동차들은 기본성능보다는 탑승자가 활동하는 영역의 환경을 조절하는 공기조화시스템의 역할을 더욱 중요시 하고 있다. 자동차 공조환경에 영향을 미치는 요소로는 승객들의 상태를 포함하여 태양복사열, 표면온도, 냉동시스템(온도, 습도, 기류, 속도) 및 먼지 등이 있으며,[3,4] 공기조화시스템은 최적의 풍량, 온도 및 습도의 맑은 공기를 자동차 실내에 공급한다.

외국의 경우 Daimler Chrysler 및 Delphi 등 주요 완성차 및 부품업체들이 승객의 만족도 개선을 위한 자동차용 기후조절 시스템(Automotive Climate Control System)을 개발하는 한편 자동차실내공조환경을 지표화하는 등 전략적 노력을 기울이고 있다.

자동차 실내의 열쾌적성 개선은 자동차업계의 최대 관심사 중의 하나이며, 공기조화시스템 제조업체의 경우 상기내용을 만족시키기 위한 기술적

†Corresponding author
Tel.: +82-41-850-8612; fax: +82-41-854-1449
E-mail address: kumbae@kongju.ac.kr

대안모색이 필요하고, 공기조화시스템 조건개선 및 진단도구개발을 통한 향후 기술수요에 전략적 대응이 필요하다.

본 연구에서는 3차원의 자동차 실내를 모델로 하였으며, 냉방 공기량과 출구크기에 따른 차량실내 모사를 통하여 기류분포 및 온도분포를 나타내어 차량 실내 공조환경 수치해석 방법을 정리하고, 차량실내 공조환경에 대한 예측 기법을 제시 하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 해석모델 및 격자

차량실내 공조환경에 대하여 수치모사를 하기 위해서는 실제 자동차 형상 및 공조시스템에 대한 자료가 필요하다. 하지만 자동차 형상의 경우 자동차 업체에서도 비밀로 전해지고 있다. 따라서 자동차 실내 내부형상을 직접 CATIA를 사용하여 3차원으로 그렸고, Fig. 1과 같이 승용차를 모델로 하였으며, 내부에는 운전자를 포함하여 4명이 타고 있는 상태이다. 자동차 실내의 환기모드

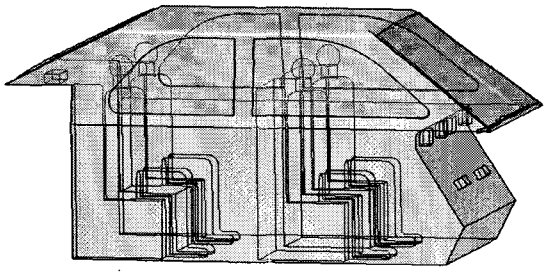

Fig. 1 Geometry of automobile interior model

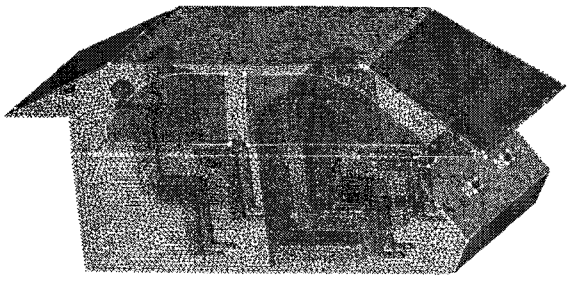

Fig. 2 Grid of automobile interior model

에는 크게 DEF, FOOT, FACE 모드가 있는데 본 연구에서는 FACE 모드에 대하여 해석을 수행하였다. FACE 모드에서 4개의 입구중 하나의 면적은 $0.008m^2$이고 출구 크기는 하나의 입구면적에 대하여 0.5배, 1배, 2배의 크기로 설정하여 각각에 대하여 해석을 수행하였다. 격자는 Sc/Tetra mesh를 사용하였고, 격자수는 약 100만개이며, Fig.2는 격자모습을 보여주고 있다.

2.2 지배방정식[5]

차량 실내 환경 수치모사에 사용된 모델은 3차원 형상이고, 비압축성유체, 비정상유동에 대하여 계산을 수행하였으며, 난류모델은 표준 k-ε모델을 사용하였다. 지배방정식은 다음과 같다.

질량 방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

운동량 방정식

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

여기서,

$\mu = \mu_l + \mu_t$

$\mu_l =$ 상수 : 층류점성계수

$\mu_t = C_t \rho \frac{k^2}{\epsilon}$: 난류점성계수

에너지 방정식

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

난류 에너지 방정식

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

난류 에너지 소산율 방정식

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

여기서,

$$G_S = \mu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$G_T = g_i\beta\frac{\mu_t}{\sigma_t}\frac{\partial T}{\partial x_i}$$

$$R_f = -\frac{G_T}{G_S + G_T}$$

$$\mu_t = C_t\rho\frac{k^2}{\epsilon}$$

$$\sigma_k = 1,\ \sigma_\epsilon = 1.3,\ \sigma_t = 0.9,\ C_1 = 1.44$$
$$C_2 = 1.92,\ C_3 = 0.0,\ C_t = 0.09$$

2.3 수치해석방법

본 연구에서는 열·유동 해석 프로그램인 SC/Tetra V5를 사용하였다. 먼저 공기량에 따른 해석을 하기 위하여 속도조건으로는 담배를 피우

Table 1 Boundary and Initial conditions

Area		Inlet cond.		Outlet cond.	Initial condition [℃]
Inlet area	Outlet area	Velocity [m/s]	Temperature [℃]		
0.008㎡	0.004㎡	0.7	15	static pressure	65
		3.47			
0.008㎡	0.008㎡	0.7	15	static pressure	65
		3.47			
0.008㎡	0.0016 ㎡	0.7	15	static pressure	65
		3.47			

지 않을 경우 공기량은 일반적으로 15~20m^3/h 인데,[6,7] 20m^3/h 기준으로 입구면적 0.008m^2에 대한 평균속도 0.7m/s와 공기량 100m^3/h에 대한 평균속도 3.47m/s를 입구조건으로 설정하였다. 또한 입구에서의 온도조건은 여름철 냉방덕트에서 불어나오는 에어컨의 바람을 고려하여 15℃로 설정하였다.

출구조건으로는 압력구배와 속도구배가 0인 조건을 설정하였다. 출구크기는 입구크기에 0.5배(0.004m^2), 1배(0.008m^2), 2배(0.016m^2)로 변화시켜 가면서 계산을 하였다.

여름철 자동차의 실내는 태양 복사열에 의해서 유리창을 통하여 상당히 가열된다. 본 연구에서는 가열된 상태에서의 공기온도 65℃를 초기온도로 설정하였고, 태양 복사 물성치는 SC/Tetra에 주어진 Default값인 9월 도쿄에서의 태양복사열 1330 W/m^2s, 대기 투과율 0.7, 날씨는 아주 맑은 상태이며, 시간은 14시를 사용하였다. 벽조건

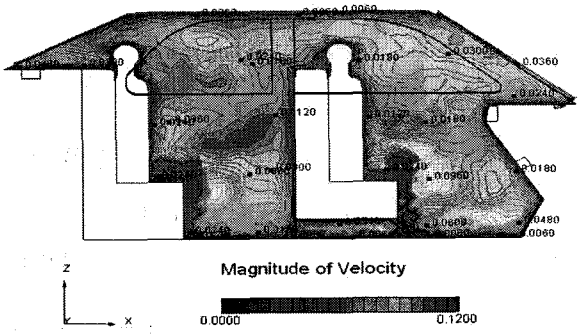

Fig. 3 Magnitude of velocity at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32m, outlet area=0.008m^2

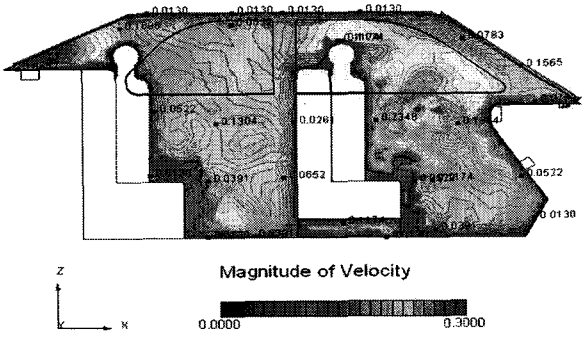

Fig. 4 Magnitude of velocity at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.32m, outlet area=0.008m^2

으로 유리창의 열전도율을 1.4 W/m^2K, 자동차 차체의 열전도율을 8.58 W/m^2K, 자동차 내부는 단열조건으로 설정하였다. 위에서 기술한 내용들은 Table 1에 정리하여 제시하였다.

3. 수치해석 결과 및 분석

3.1 입구속도에 따른 자동차실내 환경

Fig. 3과 Fig. 4는 출구면적이 0.008m^2이고,

입구의 속도가 0.7m/s과 3.47m/s 일 때의 원점에서 Y축으로 0.32m(보조석 중앙) 떨어진 위치에서 5분후 기류속도 크기를 보여준다. Fig. 3은 입구에서의 속도의 크기가 작아 자동차 실내의 기류의 속도 또한 아주 작아서 앞사람의 무릎 아래로 기류의 흐름이 크게 나타났다. Fig. 4는 입구에서의 속도가 커서 속도가 작을 때와는 반대로 앞사람의 무릎 위로 흐름분포가 크게 나타났으며 이 흐름은 뒷사람에게 까지 영향을 미치고 있다. 하지만 입구 속도에 비해 사람에게 미치는 기류의 속도는 약 0.2m/s 정도로 작게 나타나고 있다.

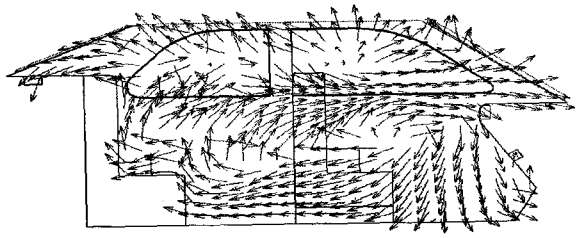

Fig. 5 Velocity vector at inlet vel.=0.7 m/s,Y=0.65m, outlet area=0.008 m^2

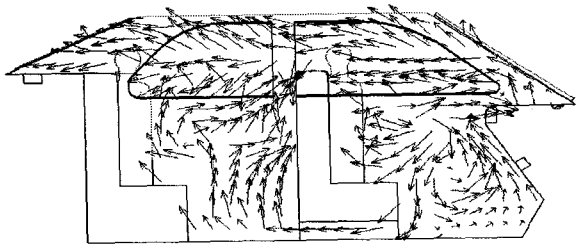

Fig. 6 Velocity vector at inlet vel.=0.7 m/s,Y=0.32m, outlet area=0.008 m^2

Fig. 5와 Fig. 6은 출구면적이 0.008m^2이고, 입구의 속도가 0.7m/s일 때의 원점으로부터 Y축으로 0.65m(자동차 실내 중앙) 0.32m(보조석 중앙) 떨어진 위치에서 5분후 기류속도 벡터를 보여주고 있다. 자동차 실내 중앙에서는 입구에서의 기류속도가 작아 자동차 하부로 흐르다가 뒷좌석에 부딪쳐서 일부는 출구로 배출되고, 일부는 자동차 앞 유리창까지 흐르면서 반복 순환한다. 보조석 중앙에서는 앞사람의 가슴위로는 뒷좌석으로 그대로 흘러가고 가슴 아래쪽에서는 한번 부딪쳐서 순환되면서 일부는 좌석 아래로 일부는 입구쪽으로 흐르다가 입구에서 나오는 기류에 합류한다.

Fig. 7과 Fig. 8은 출구면적이 0.008m^2이고, 입구의 속도가 3.47m/s일 때의 Y축으로 0.65m/(자동차 실내 중앙), 0.32m(보조석 중앙) 각각 떨어진 위치에서 5분후 기류속도 벡터를 보여주고 있다. 자동차 실내 중앙에서는 입구에서 불어나오는 기류는 일부는 그대로 출구로 흘러 나가고, 일부는 뒷좌석 하부에 부딪쳐서 앞좌석으로 흘러 다시 입구에서의 기류와 합류하며, 사람의 가슴을 경계로 2군데의 순환영역으로 나뉘어짐을 알 수 있다. 보조석 중앙에서는 앞사람에 부딪쳐서 자동차 앞부분에서 순환하고 중앙에서의 기류에 영향을 받아 뒷사람에게 부딪쳐서 일부는 앞좌석 아래로 일부는 앞사람의 머리 위로 흐르는데, 이는 중앙에서 자동차 상부의 기류에 영향을 주게 된다.

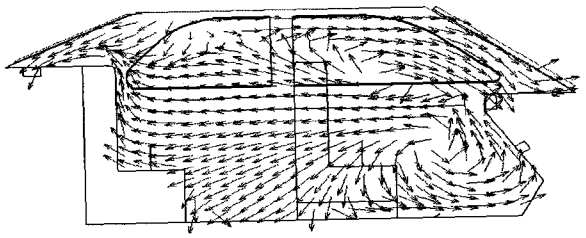

Fig. 7 Velocity vector at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.65m, outlet area=0.008 m^2

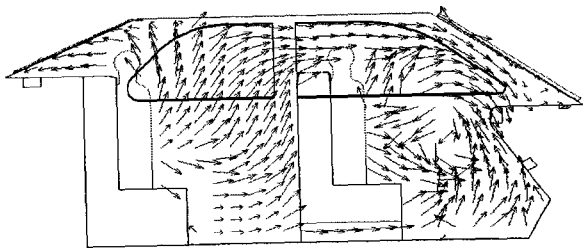

Fig. 8 Velocity vector at inlet vel.=3.47 m/s,Y=0.32m, outlet area=0.008m^2

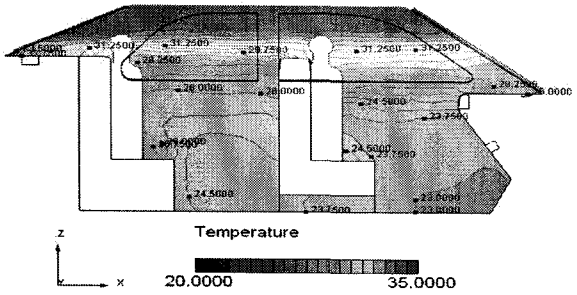

Fig. 9 Temperature contour at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32m, outlet area=0.008m^2

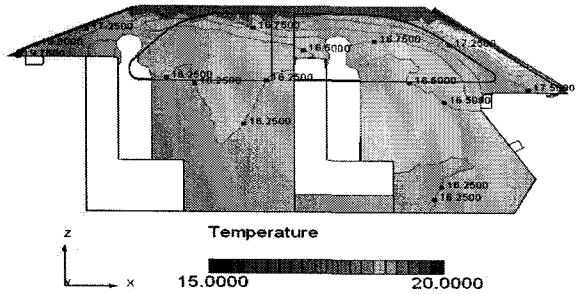

Fig. 10 Temperature contour at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.32m, outlet area=0.008m^2

Fig. 9와 Fig. 10은 출구면적이 0.008m^2이고, 입구의 속도가 0.7m/s와 3.47m/s일 때의 Y축으로 0.32m(보조석 중앙) 위치에서 5분후 온도분포를 보여주고 있다. Fig. 9에서는 유리창을 통해 전달되는 태양 복사와 유리창과 자동차 차체에서의 전도에 의해 자동차 실내 상부의 온도가 높고, 입구속도가 낮아 앞좌석 아래가 가장 낮은 온도 분포를 나타내고 있다. Fig. 10에서는 복사와 전도에 의해 자동차 실내 상부의 온도가 조금 높게 나타났고, 입구속도가 커서 전체적으로 고른 온도분포를 나타내고 있다.

3.2 출구크기에 따른 자동차실내 환경

Fig. 11과 Fig. 12는 출구 단면적이 0.004m^2와 0.016 m^2이고, 입구의 속도가 0.7m/s일 때의 Y축으로 0.32m(보조석 중앙) 위치에서 5분후 온도분포를 보여주고 있다. 입구 속도가 작은 경우 출구의 크기가 작을수록 자동차 실내 하부에서 기류순환이 더 활발하여 낮은 온도분포를 나타내고 있다.

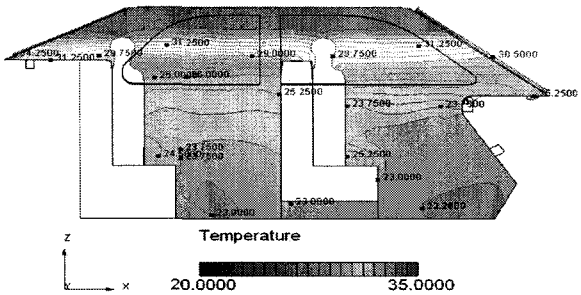

Fig. 11 Temperature contour at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32m, outlet area=0.004m^2

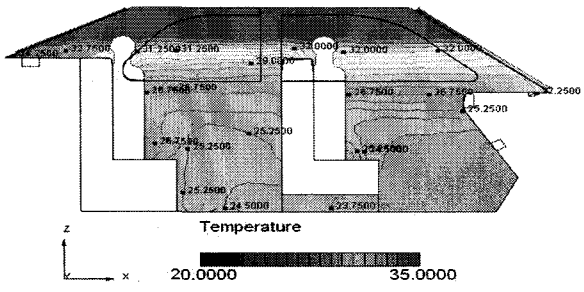

Fig. 12 Temperature contour at inlet vel.=0.7 m/s, Y=0.32m, outlet area=0.016m^2

Fig. 13과 Fig. 14는 출구면적이 0.004m^2과 0.016m^2이고, 입구의 속도가 3.47m/s일 때의 Y축으로 0.32m(보조석 중앙) 위치에서 5분후 온도분포를 보여주고 있다. 입구 속도가 큰 경우 출구 크기에 상관없이 비슷한 온도분포를 나타내고 있다.

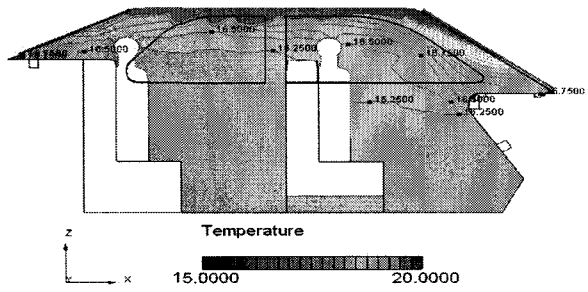

Fig. 13 Temperature contour inlet at vel.=3.47 m/s, Y=0.32m, outlet area=0.004 m^2

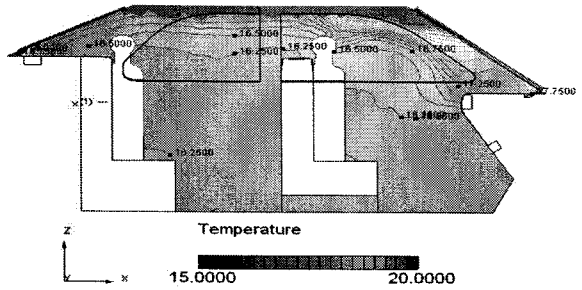

Fig. 14 Temperature contour at inlet vel.=3.47 m/s, Y=0.32m, outlet area=0.016 m^2

4. 결론

본 연구에서는 3차원 수치해석을 통해 차량실내에서의 기류본포 및 온도분포를 얻었으며, 이들을 분석한 결과들에 대한 결론은 다음과 같다.

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

(2) 유동장은 입구 속도가 작은 경우 앞사람 아래쪽으로 흐른 기류는 뒷좌석에 부딪쳐서 다시 앞사람쪽으로 순환하고, 입구 속도가 큰 경우 앞사람의 가슴을 경계로 위쪽과 아래쪽의 두개의 순환영역으로 나뉘어 졌다.

(3) 온도분포는 유리창을 통해 전달되는 태양복사와 자동차 차체와 유리창의 전도에 의해서 상부에서 온도가 높게 나타났고, 입구에서의 냉풍에 의해 앞쪽의 온도가 낮게 나타났다. 출구 크기에 따라서 입구 속도가 작은 경우 출구의 크기가 작을수록 자동차 실내 하부에서 기류순환이 더 활발하여 낮은 온도분포가 나타났고, 입구 속도가 큰 경우 출구크기에 상관없이 비슷한 온도분포를 나타내고 있다.

차량실내 공조환경에 대한 수치해석의 예측기법에 대해 제시하였으나, 실질적인 형상 및 경계조건에 대한 보다 더 현실적인 대응이 추가로 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 2005년도 지방대학혁신역량강화사업(NURI)인 『충남 자동차·부품산업 인력양성사업』 중 "산학공동연구" 과제 사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

(1) 박창호, 자동차용 공조 시스템 개발동향, 설비저널 2000년 12월호, 29권, 10호
(2) 김한경, 차량용 공조 시스템의 이해, 설비저널 2000년 12월호, 29권, 10호
(3) 강정길, 박재림 및 장인성, 자동차 에어컨 1999, 태훈출판사
(4) 김찬원, 자동차 에어컨, 1993, 중원사
(5) SC/Tetra V5 User's Guide
(6) 김양섭, 자동차 공학, 1999, 일진사
(7) 모정하, 이상호, 강제배기를 수반한 자동차 실내의 환기시스템에 대한 유동 및 열전달 해석, 2005, 대한기계학회논문집 B권, 제 29권, 제4호, pp. 469-476.
(8) 윤정인, 자동차용 에어콘의 용량제어, 설비저널 2000년 8월호, 제29권, 제6호
(9) 조영두, 시종민, 이명재 및 한창섭, 실차 냉방성능 시뮬레이션 프로그램 개발, 대한설비공학회 2003하계학술발표대회 논문집, pp. 632-641.
(10) 이대응 및 유성연, 자동차용 공조시스템의 전산성능 해석에 관한 연구, 대한설비공학회 2003하계학술발표대회 논문집, pp. 620-625.
(11) 이대응 및 유성연, 전산해석에 의한 자동차용 HVAC 시스템의 성능 연구, 2004년, 대한설비공학논문집 제16권, 제11호, pp. 1084-1091.
(12) 시종민, 조영두 및 한창섭, TXV 변경에 따른 차량용 에어컨 성능 예측, 대한설비공학회 2003하계학술발표대회 논문집, pp. 642-650.