

# 미생물 안전을 위한 승용차 실내 부유 미생물 거동에 관한 CFD 연구

최 상 곤\*

\*유한대학교 건축설비과

## A Study on CFD analysis of indoor airborne microbe transport in car for microbiological safety

Sang-Gon Choi\*

\*Depat. of Bilding Services, Yuhan University

### Abstract

Recently SARS and bird flu has been infected widely in the world; we have to care about germs and virus in indoor air environment. Especially that transmission by means of transportation is a major infection route. In this study, a private car simulated with CFD for prediction of indoor airborne microbe transport. Simulation performed with real situation in car, four occupants with a infected driver and four stage air ventilation controled by HVAC system. Result show that CFD can be visualized microbe transport other occupants and who is more exposed to airborne microbe. also it make a prediction of microbe transport in car.

**Keywords** : CFD, Microbe Transport

### 1. 서 론

최근 중증 급성호흡기 증후군(SARS: severe acute respiratory syndrome)과 조류 독감의 세계적으로 유행 하였다. 이러한 감염균은 공기로 전파된다는 점에서 전파속도와 위험도가 매우 높다 할 것이다.

실내 부유 미생물에 의한 질병은 보균자와 직접적인 접촉이 아닌 공기로 2차 감염을 발생시킨다는 점에서 감염 경로가 매우 다양하다. 감염경로 중 가장 큰 확산 반경을 가지는 것이 교통수단을 이용한 보균자의 이동 및 교통수단 내부에서의 감염이라 할 것이다. 따라서 교통수단 내부에서 부유 미생물의 유동과 감염에 관한 연구가 필요하다.

이 연구는 교통수단 중 승용차를 대상으로 보균자와 동승한 동승자들이 부유미생물에 노출되는 위험도를 분석하기 위하여 수행되었다. 실내 부유미생물의 확산

에 관한 연구는 매우 다양한 방법으로 이루어지고 있으나, 실증 실험은 독성이 매우 높은 병원균이 대상이기 때문에 수행하기가 매우 어려운 형편이다.

2005년 연구에서는 실험실내에서 UV-C 살균기를 대상으로 부유미생물의 살균성능 실증 실험[1]을 수행하였다. 2006년 연구에서는 2D Multi-zone 시뮬레이션과 실증실험을 병행하는 연구[2]를 수행하여 부유미생물의 발생 및 제거가 2D Multi-zone 시뮬레이션으로 예측 가능하다는 것을 보였다. 2009년 연구에서는 개인 사무공간에 대한 부유미생물에 대한 UV-C장치의 살균성능 실증 실험을 수행하였다[3]. 그러나 개인 사무공간의 경우는 상대적으로 Multi-zone 시뮬레이션이 실내의 구체적인 미생물의 유동을 나타내지 못하는 한계를 가지고 있으며, 미생물의 부착, 낙하 등을 표현하는 것에 어려움이 있다.

† Corresponding Author : Sang-Gon Choi, 185-34, Depat. of Bilding Services Yuhan University  
Goean-dong, Sosa-gu, Bucheon-si, Gyeonggi-do, Korea  
M · P: 010-2981-4949, E-mail: tool007@yuhan.ac.kr

Received September 25, 2013; Revision Received November 30, 2013; Accepted November 30, 2013.

2010년의 연구[4]에서는 CFD(Computational Fluid Dynamic) 프로그램인 Airpak을 이용하여 3D particle trace를 보였다. 그러나 이 연구에서는 CFD를 결과 값의 분석을 위한 보조도로 사용하였으며, 실제 공기 중 부유 미생물의 거동 보다는 공기유동(Air streamline)을 따라 미생물이 움직인다는 가정을 가시화하여 나타낸 것이다.[4] 이 연구를 보강하기 위한 2012년 연구에서는 CFD 프로그램을 이용하여 공기유동에 따른 적절한 부유미생물의 거동 예측이 가능함을 보였다[5].

본 연구에서는 이러한 선행 연구들의 결과로부터 승용차 내부 부유 미생물 거동을 예측하기위해 상용 CFD 프로그램인 CFX를 이용하여 실제 공기 중 부유 미생물의 거동을 예측 할 수 있도록 하였다. 연구를 위하여서는 각 자동차 메이커별 모델에 따라 모든 경우를 살펴야 할 것이지만 자동차의 도면이 각 회사별 대외비이며, 세단형의 승용차 경우는 실내공간이 구조가 흡사하여 내부의 공기 유동이 메이커별로 큰 차이를 나타내지 않을 것으로 판단하여 연구에 참여한 A사의 B승용차 모델을 대상으로 CFD 모델을 구축하고4명의 동승자 중 운전자가 보균자인 경우 승용차의 공조 시스템을 이용하여 4단의 풍량을 하는 경우에 대한 부유 미생물의 거동을 예측하였다.

## 2. CFD 모델링

### 2.1 자동차 내부 유동모델

자동차 내부의 공기유동 모델은 운동량 보존의 법칙(Navier Stokes)을 기초한 RANS( Reynolds Aver-aged Navier Stokes) 모델링 기법을 사용한다. RANS 모델링은 유속, 온도 등과 같은 각 파라미터들을 시간 평균(root-mean-square)으로 나타내며, 부력이 있는 비압축성유체의 지배방정식은 다음과 같다[6].

(1) Continuity

$$\frac{\partial (\rho U_i)}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

(2) Momentum

$$\frac{\partial (\rho U_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_j U_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (v_{eff} \frac{\partial U_j}{\partial x_j}) + S_{U_j} \tag{2}$$

여기서,  $\rho$  : 공기밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

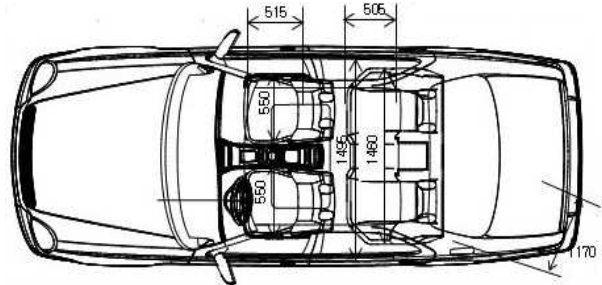
$U_i$  :  $x_i$ 방향 평균속도 [m/s]

$t$  : 시간[s]

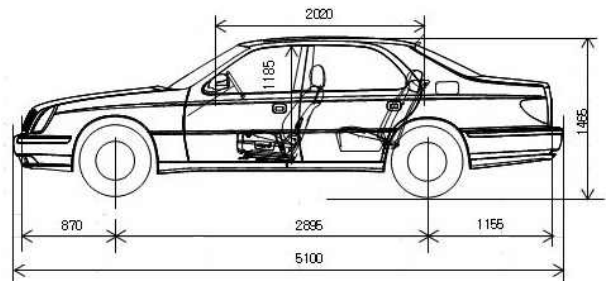
$v_{eff}$  : 점성계수 [Pa · s]

$S_{U_i}$  : source term

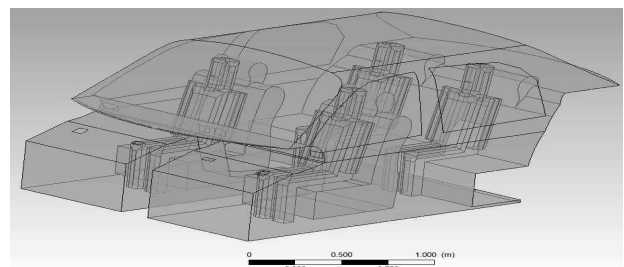
본 연구에서는 난류모델을 위하여 RANS 모델에서 제공하는 여러 난류모델 중 Standard k-ε 모델을 적용하였다. Standard k-ε 모델로부터 와동점성( $v_e$ :eddy viscosity)은 다음과 같으며[6],



[a] Floor plane diagram of car

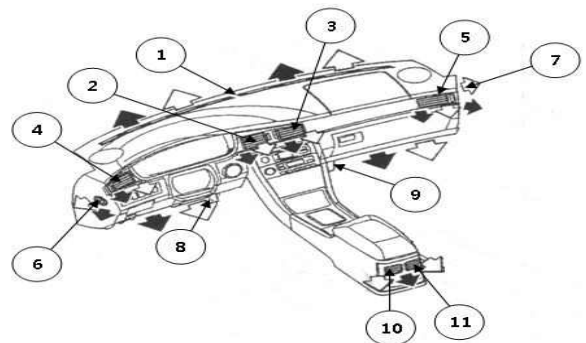


[b] Cross-sectional diagram of car



[c] 3D model of car

[Figure 1] Diagram of car



[Figure 2] Diagram of ventilation diffuser

$$v_e = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

$C_\mu$ 는 난류계수(Turbulence model coefficient),  $k$ 는 난류운동에너지(Turbulence kinetic energy),  $\varepsilon$ 은 소멸율(Dissipation rate)으로 가장 일반적으로 널리 사용되고 있으며, 본 연구에서도 일반적인 공간을 모사하는 것으로 하여 모델을 적용하였다.

[Figure 1]에 모델링을 위해 사용된 승용차의 계략도를 나타내었다. Figure 2에 실내에 설치된 자동차 공기조화 장치의 공기 토출구를 나타내고, Table 1에 각 토출구의 치수를 나타내었다.

[Figure 1]의 모델링에 사용된 승용차는 자가용으로 A사의 B모델로 현재 시판되고 운행하는 모델이다. 이 승용차의 내부 공간을 3D CAD프로그램을 이용하여 모델링 하고 CFX의 Preprocess인 Design Modeler를 이용하여 내부유동과는 무관하거나 필요이상으로 복잡한 구조를 단순화 하였다.

[Figure 2]의 자동차급기는 Table 1의 토출구 크기를 적용하여 각각의 위치에서 공기를 급기 할 수 있도록 배치하였다. 자동차의 공조방식은 크게 내부순환모드와 외기도입모드로 동작이 가능하다. 그러나 본 연구에서는 감염자로부터 발생한 부유미생물이 자동차내부에서 어떻게 거동하며 이에 따라 동승자에게 미치는 영향을 판단하는 것이다. 따라서 순환모드인 경우는 공조시스템 내부의 필터나 각종 급기장치들이 부유미생물을 포집하거나 필터링하고, 일부의 경우는 다시 실내로 부유미생물을 공급하는 상황이 있을 수 있으므로 본 연구에서는 외기도입모드로 모든 토출구에서 신선한 외기를 각 토출구의 법선 방향으로 급기하는 것으로 하였다.

## 2.2 Particle transport 모델

부유미생물 모델은 Influenza A virus를 대상으로 Virus를 Particle로 가정하였다. Particle 모델은 부유세균을 모델링하기 위하여 평균직경을 사용하여 구 형태로 가정함으로써 식 (5)과 같이 유효직경을 나타낼 수 있다[7].

$$De = L \quad (5)$$

그러나, 종횡비가 3.5 보다 큰 경우의 수학적 접근은 Matteson과 Orr 이 1987년 실험적인 방법을 통하여 다음 식 (6) 과 같이 나타내었다.[6]

$$De = 0.285L \quad [Re < 2.0] \quad (6)$$

따라서 Influenza A virus를 대상으로한 Particle 모델은 0.098 $\mu$ m의 평균직경을 사용하였고, 밀도의 경우는 Bratbak and Dundas에 의해 제시된 1,100 kg/m<sup>3</sup>을 사용하도록 하였다[8].

<Table 1> Diffusor size

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H (mm)	880	80	80	90	110	50	50	62	62	60	60
L (mm)	10	50	50	45	40	∅	∅	66	66	42	42

부유세균 모델이 구형의 평균직경 0.098 $\mu$ m이고 밀도가 높지만 상대적으로 체적이 매우 작기 때문에 유동장내에서 질량을 가지는 Particle의 유동으로 정의 할 수 있다. 따라서 Particle의 이동 계산은 라그랑지안 기법(Lagrangian method)을 이용하여 수행 할 수 있다. Particle의 이동은 계산시간  $\delta t$ 에 대하여 이동속도  $v_p = (dx_p/dt)$ 라 할 때 Particle의 이동은 다음과 같다.

$$x_{p_i}^n = x_{p_i}^0 + v_{p_i}^0 \delta t \quad (7)$$

여기서,  $x_{p_i}^0$ 는 초기위치,  $v_{p_i}^n$ 은 초기속도이다. 전방통합(forward integration)에서 Particle 속도는 다음의 momentum 식으로 나타낼 수 있다.

$$m_p \frac{dv_p}{dt} = F_{all} \quad (8)$$

여기서,  $F_{all}$ 은 Particle에 걸리는 모든 종류의 작용힘(Forces acting)이다. 작용힘들은 항력(Drag force), 부력(Buoyancy force), 양력(Lift force)들이다. 본 연구에서는 부유세균 모델이 구형의 평균직경 0.098 $\mu$ m로 브라운 운동에 의해 발생하는 힘(Brownian force)은 무시할 수 있을 만큼 매우 작게 발생할 것이므로 적용하지 아니한다.[7]

## 2.3 운전자 및 동승자 모델

제실자 모델은 굴곡이나 옷 등에 대한 모사 보다는 인체발열과 오염원의 소스로서의 역할을 위하여 단순화 하였다. 보균자인 운전자의 경우는 70kg인 성인을 대상으로 호흡량인 11 l/min을 대상으로 1000개의 부유미생물을 입의 면적 0.005m<sup>2</sup>을 통하여 36.5 $^{\circ}$ C의 온도를 가진 공기와 함께 공기 중으로 방출하는 것으로 하

였다. 동승자의 경우는 운전자와 동일한 조건에서 호흡량인 11 l/min을 입에서 흡기하는 것으로 하였다. 모든 재실자는 앉아서 가벼운 사무를 하는 사람과 같은 인체 발열량을 모델링 된 신체 표면적에 대하여 81 W/m<sup>2</sup>을 Heat flux 형태로 방출하는 것으로 하였다. 이 때 사람은 움직이지 않는 정자세를 유지하는 것으로 하였다.

### 2.4 CFD 해석

해석 모델을 설정하기 위하여 앞서 언급된 기법의 구체적인 내용과 격자 조건을 <Table 2>에 나타내었다. <Table 2>에서 보는 것과 같이 자동차의 내부공간의 격자의 수를 약 300만개로 일반적인 실내공간에 비하여 복잡한 내부구조를 가지기 때문에 경계(Boundary) 근처에서 격자의 최소 크기를 3mm, 실내 공간에 간격이 넓은 곳에 최대크기 99mm로 배치하여 수렴도를 높이기 위하여 격자를 구성하도록 하였다.

인체발열 및 창을 통한 일사의 영향을 해석하기 위하여 에너지와 난류 모델을 적용하였다. 인체는 실내기류 분포에 최대한 영향이 적게 미치는 한도에서 단순화하여 나타내도록 하였다. 다만 인체 표면에 부유미생물의 접촉하면 부착으로 인해 실내 공기 중에서 제거되는 것으로 하였다.

자동차 내부의 벽과 의자를 통하여 열출입이 없는 것으로 가정하였으며, 벽과 의자에 부유미생물이 접촉하는 경우에도 부착으로 인해 실내공기 중에서 제거되는 것으로 하였다.

유리창을 통한 일사는 실내에 직접 열전달되는 것으로 가정하였다. 이에 따라 인체 및 일사로 인한 부력항을 계산할 수 있도록 모델을 구성하였다.

Particle은 중력, 열해석에 의한 공기의 부력 및 Particle의 Buoyancy force, Lift force, Drag force 모델도 해석하도록 하였다.

Table 3에 모델을 해석하기위한 경계조건 (Boundary condition)을 나타내었다. 경계조건은 출구(Outlet)조건과 구조(Body)조건을 고정 조건으로 하고, 입구(Inlet)조건인 급기량을 바탕으로 4가지 경우를 대상으로 수행되었다.

출구조건은 자동차 외부조건인 대기압으로 압력차에 의한 배기로 가정하였다. 재실자는 약 70kg의 체중을 가진 남자의 평균체형 착석한 상태에서 움직이지 않는 경우 81 W/m<sup>2</sup>의 발열과 11 l/min의 호흡량을 가지는 것으로 가정하였다. 단 보균자인 운전자는 호흡량에 따라 부유세균 1000개를 실내로 공급하고, 다른 동승자 3명의 경우는 호흡량에 따라 흡기하여 동승자의 입을 통하여 전파되는 부유세균의 량을 측정할 수 있도록 하였다.

<Table 2> Simulation condition

mesh	Tetra about 3,200,000 nodes mim. size 3 mm max. size 99 mm
Fluid	Continuous fluid : Air (Ideal gas) Turbulence : Standard k-ε density difference Buoyancy turbulence : Production and dissipation Heat transfer : Thermal energy Thermal radiation : fluid dependent
Particle	Coupling : Fully coupled (Buoyancy force, lift force) Momentum transfer : Drag force : schiller nauman
wall	Slip wall Standard wall function

<Table 3> Boundary condition

Inlet	1 stage	2 CMM, temp.12°C
	2 stage	3.5 CMM, temp.12°C
	3 stage	5 CMM, temp.12°C
	4 stage	7 CMM, temp.12°C
Outlet	atmospheric pressure outlet Out air temp. 35°C	
body	Driver Mouth	11 l/min, exhalation Particle 1000 EA 309.5 K
	Other occupant Mouth	11 l/min, inhalation
	Humen	81 W/m <sup>2</sup> particle collect
	Windows	397 W/m <sup>2</sup> particle collect
	Chair	Isolated particle collect
	Wall	Isolated particle collect

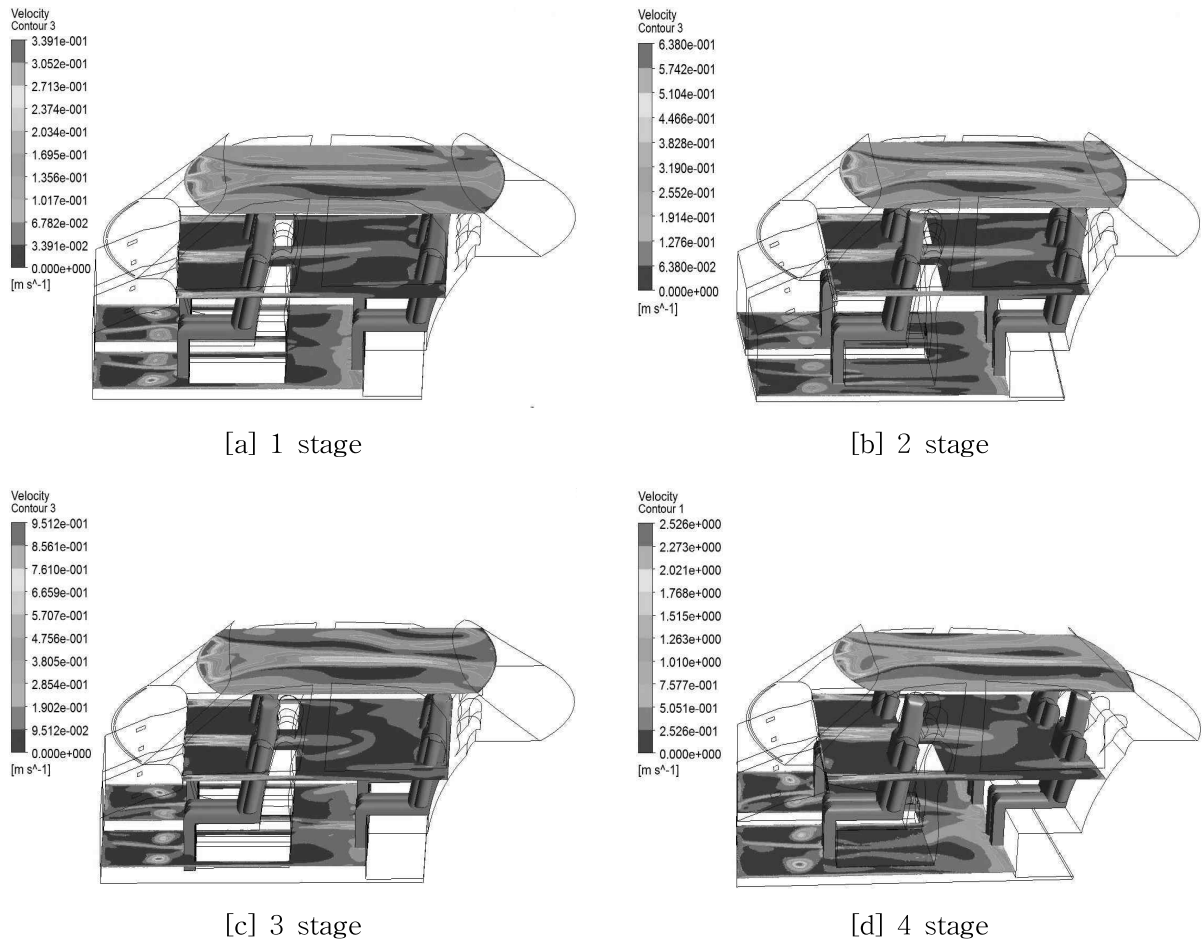
해석을 위한 변화조건인 급기는 자동차의 공조시스템을 수동 조작하는 것을 대상으로 1단(Stage)~4단(Stage)까지 조작하여 Figure 2에 나타난 취출구로 등배분하여 자동차 실내로 급기 되도록 하였다. 급기의 방향은 토출구의 법선방향으로 고정하고 급기구에 설치되어있는 풍향 조절 장치는 조작하지 않는 것으로 가정하였다.

### 3. 결과 및 분석

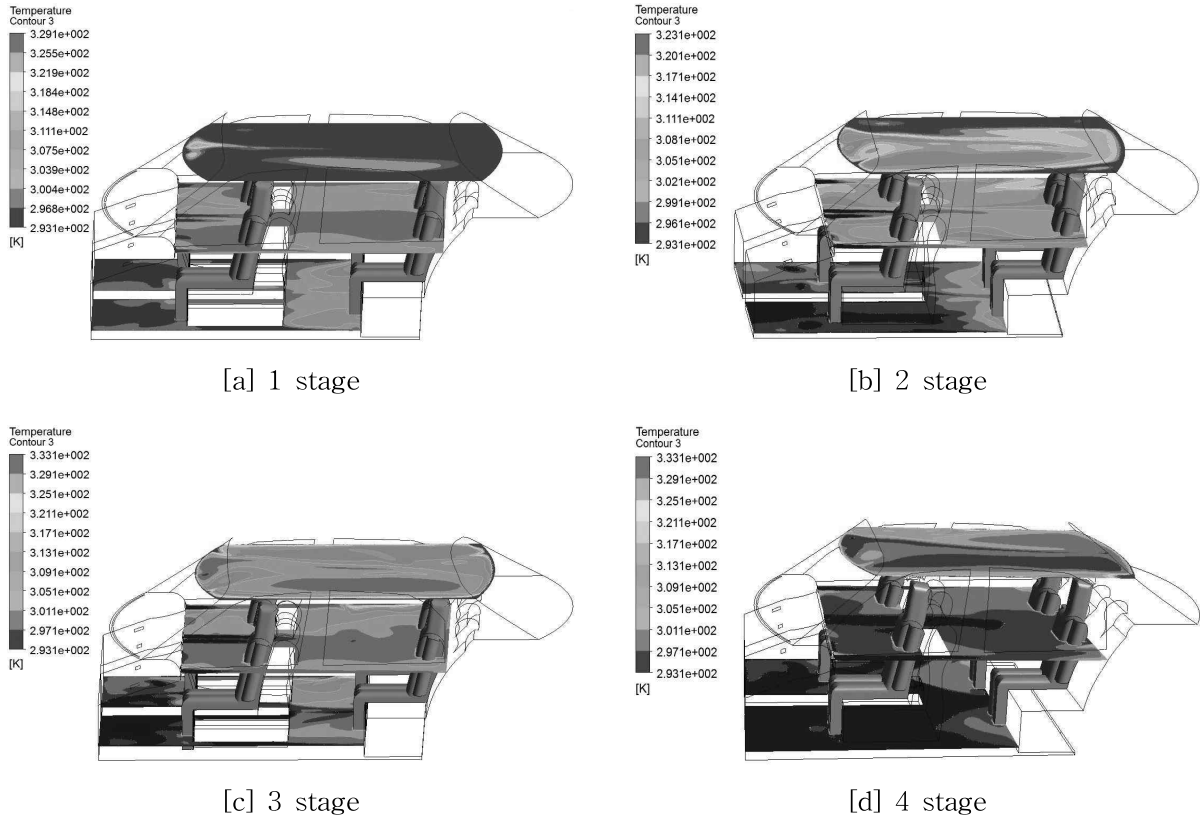
우선 모델의 기본적인 결과를 확인하기 위하여 Figure 3에 속도분포 결과를 나타내었다. [a] 1 stage의 토출 풍량 2CMM일 경우의 결과는 토출구로부터 약 0.34 m/s의 속도로 토출되어 약 0.1m/s로 후면 유리까지 도달하는 것으로 나타났다. 최저의 풍량에서도 토출구로부터 후면유리까지 냉풍이 전달되고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 좌석 후면과 프론트 데쉬보드의 토출구 사이에서는 약 0.03m/s로 매우 낮은 속도분포를 보이는 것으로 나타났다. [b] 2 stage의 토출풍량 3.5CM M의 경우는 토출구 약 0.64m/s로부터 후면 유리 부근 약 0.2 m/s, 좌석 후면과 프론트

데쉬보드의 토출구 사이에서는 약 0.05m/s로 나타났다. [c] 3 stage의 경우는 토출구 약 0.9m/s, 좌석 후면과 프론트 데쉬보드의 토출구 사이에서는 약 0.09m/s로 나타났다. [d] 4 stage의 경우는 토출구 약 2.5m/s로부터 후면 유리 부근 약 1.2 m/s, 좌석 후면과 프론트 데쉬보드의 토출구 사이에서는 약 0.2m/s로 나타났다. [a], [b], [c], [d]의 모든 stage에서 풍속분포는 비슷한 경향을 나타내고 있어 적절하게 풍속 분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 [c] 3 stage의 경우는 최저 속도가 약 0.09m/s [d] 4 stage의 경우는 최저 속도가 약 0.2m/s로 나타나 급기 풍량이 늘어날수록 좌석 후면과 프론트 데쉬보드의 토출구 사이의 공기흐름이 좋아지는 것을 알 수 있다.

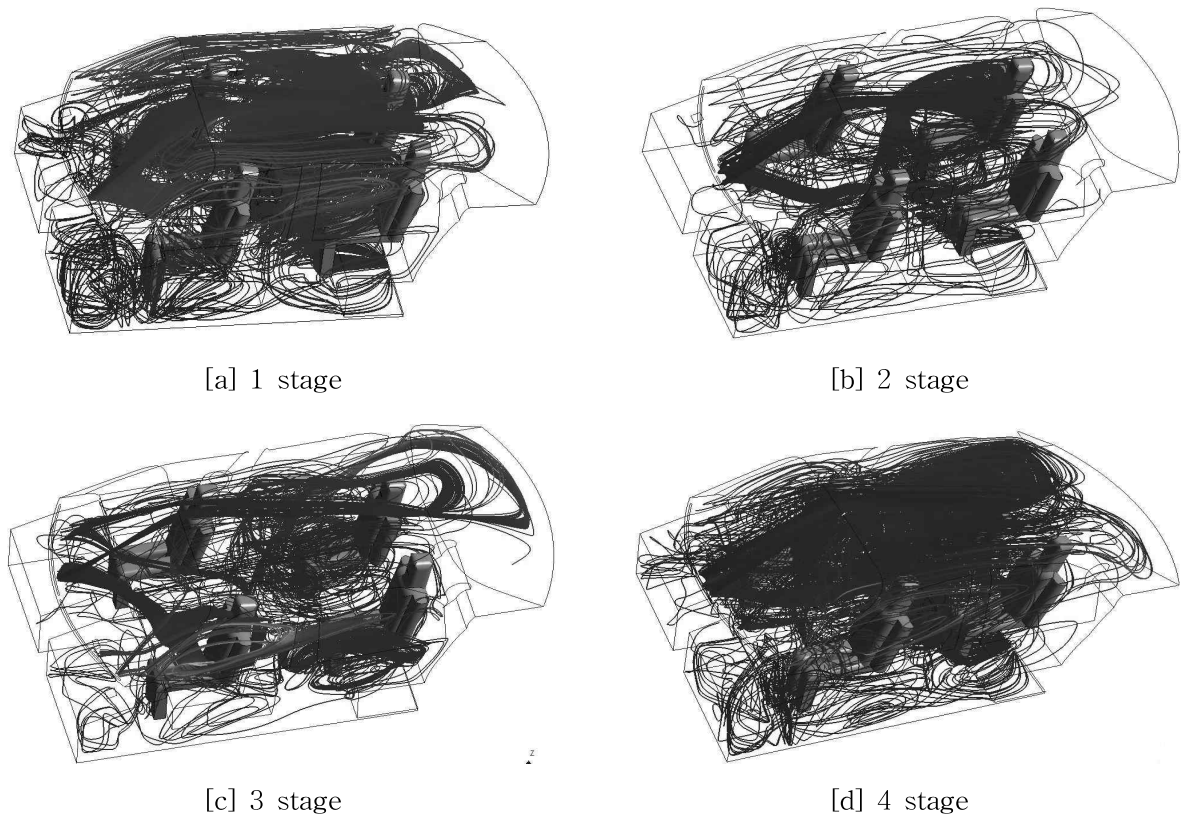
Figure 4에 온도분포 결과를 나타내었다. [a] 1 stage의 토출 풍량 2CMM일 경우의 결과는 외기온도 35°C와 창외 일사부하 및 인체발열 부하로 인하여 자동차 상부의 온도가 최대온도인 약 56°C에 이르고 있는 것을 알 수 있다. 최소 풍량으로는 차량외부로 부터의 부하를 처리하지 못하기 때문에 실내온도가 약 33°C에 이르고 상부에 열이 정체하는 구역이 나타난다는 것을



[Figure 3] Velocity result contour



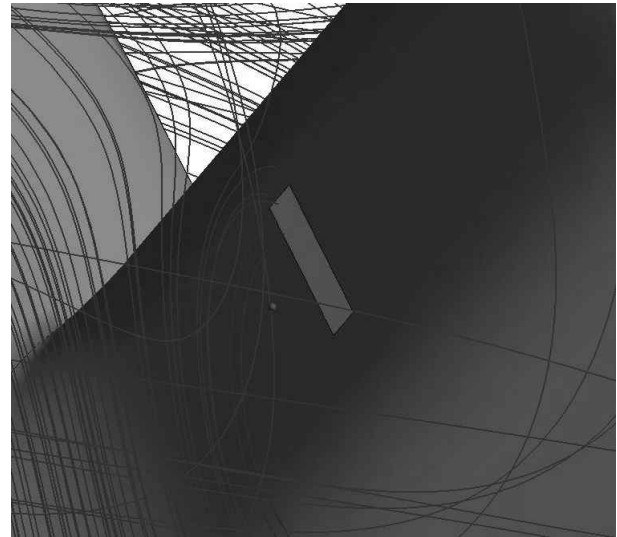
[Figure 4] Temperature result contour



[Figure 5] Particle tracks

알 수 있다. [b] 2 stage의 토출풍량 3.5CMM의 경우는 상부의 온도가 약 35℃ 정도로 떨어지지만 실내온도는 약 30℃로 2 stage의 토출풍량으로도 여름 최고 부하를 처리하는 것에는 부족한 것을 알 수 있다. [c] 3 stage의 경우는 상부 온도가 약 30℃이고 실내온도가 약 25℃ 정도로 나타나 상대적으로 실내온도가 쾌적조건에 이르는 것을 알 수 있다. [d] 4 stage의 경우는 상부 약 25℃ 실내온도가 약 20℃ 정도로 나타나 차량내부 전체가 쾌적조건에 이르고 있는 것을 알 수 있어 급기풍량에 따라 적절히 열해석이 수행되었음을 나타내고 있다. 또한 이러한 결과는 여름 최고 부하에서 실내온도를 적절히 유지하기 위하여서는 자동차의 에어컨을 3단에서 4단으로 운전하는 것이 실내의 쾌적한 온열환경을 유지할 수 있다는 것을 알 수 있다. Figure 5에 보균자인 운전자가 호흡을 통하여 부유미생물을 자동차 내부로 분출하는 경우 운전자의 입에서부터 출발하여 1시간 동안의 1000개의 부유미생물의 이동 경로 결과를 나타내었다. [a] 1 stage의 경우는 풍량이 적기 때문에 Figure 3의 결과에서도 알 수 있는 것과 같이 상대적으로 공기의 흐름이 매우 작은 부분들에서 부유미생물이 정체하는 것을 알 수 있다. [b] 2 stage, [c] 3 stage의 경우는 풍속분포가 개선되기 때문에 정체구역에서 상대적으로 정체하는 구역에서 이동 경로가 짧아지고 점점 후면 유리 부분 등에 까지 이동 경로가 확장되는 것을 알 수 있다. [d] 4 stage의 경우는 실내 풍속이 증가함에 따라 이동 경로가 자동차 내부의 모든 구역으로 확장됨과 동시에 경로가 자동차 내부 전구역으로 길어지는 것을 알 수 있다. 따라서 풍량의 증가로 인해 풍속이 높아지면 상대적으로 부유미생물의 오염이 자동차 내부 전체적으로 높아지는 것을 알 수 있다.

Figure 6에 동승자의 입 주변의 부유미생물의 이동 경로를 나타내었다. 호흡에 의해 부유미생물이 입을 통해 흡입되는 상황을 적절히 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 이렇게 흡입되는 부유미생물의 양을 Table 4에 나타내었다. 결과는 보균자에 의해 자동차 실내로 분출되는 부유미생물의 숫자에 대한 동승자의 입을 통해 흡입되는 부유미생물 숫자의 비율을 나타내었다. 실험 대상인 Influenza A virus의 경우 감염률 50%인 ID50(Infection dose, 50%)이 790개 인 것을 감안한다면 1 stage에서 보균자가 약 11만개 정도의 부유미생물을 분출하게 되면 보조석 뒷좌석에 앉아있는 동승자는 ID50에 노출 되게 된다. 즉 보균자가 한 호흡에 1000개의 부유미생물을 분출한다고 가정하면 100번의 호흡 정도로 보조석 뒷좌석에 앉아있는 동승자는 ID50에 노출 되게 된다는 것이다.



[Figure 6] Particle tracks around mouth

<Table 4> Result of Exposed by stage

	보조석 (%)	운전자 뒷좌석 (%)	보조석 뒷좌석 (%)
1 stage	0.1	0	0.7
2 stage	0	0	1.2
3 stage	0.1	0	0
4 stage	0.3	0	2.8

<Table 5> Result of Exposed by position

	운전석 (%)	보조석 (%)	운전자 뒷좌석 (%)	보조석 뒷좌석 (%)
운전석	오염원	0.3	0	2.8
보조석	0	오염원	1.8	0
운전자 뒷좌석	0.1	0	오염원	0
보조석 뒷좌석	0	0	0	오염원

2 stage에서는 상대적으로 보조석 뒷좌석에 앉아있는 동승자는 약 2배정도 4 stage에서 2 stage의 약 2배정도로 ID50에 노출 된다. 그러나 3 stage에서는 전체적으로 동승자에게 흡입되는 부유미생물의 양이 줄어든 것을 알 수 있으며, 이는 급기량에 대한 배기량이 적절한 경우, 즉 환기효율이 가장 좋은 경우이기 때문에 호흡으로 흡입되기 전에 배출되거나 벽에 부착되어 제거되기 때문으로 사료된다.

보조석의 경우는 최대 흡입률이 최소 0.1%에서 최대 0.3%로 앞선 경우와 동일한 가정에서 보균자가 300번에서 700번 정도의 호흡을 통해 부유미생물이 분출하게 되

면 ID50에 노출 되게 된다는 것을 알 수 있다.

운전자 뒷좌석의 동승자의 경우는 모든 stage에서 부유균의 흡입률이 0으로 상대적으로 가장 안전한 것을 알 수 있다.

Table 5에는 보균자의 위치에 따라 부유미생물의 거동 결과를 나타내었다. 보조석의 동승자가 보균자인 경우는 운전석 뒷좌석의 동승자가 1.8%의 부유미생물에 노출이 되며, 뒷좌석의 동승자들이 오염원인 경우에는 보조석의 동승자가 0.1%의 부유미생물에 노출된다. 이러한 결과는 뒷좌석에 보균자가 동승하는 경우보다 앞좌석의 동승자가 보균자인 경우 대각 방향의 동승자가 부유미생물에 상대적으로 많이 노출되는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 자동차 내부의 공기감염을 일으키는 부유 미생물 안전을 위하여 미생물의 거동을 예측하기 위해 CFD 상용프로그램인 CFX를 이용하여 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 시뮬레이션은 1~4단으로 풍량을 조절하는 경우에 대한 기류분포와 온도분포의 기본적인 결과를 확인하고 각각의 경우에 대한 부유미생물의 이동경로와 동승자의 입을 통해 흡입되는 부유미생물의 흡입률을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) CFD를 이용한 자동차 모델의 열, 속도 등의 기본적인 물리량들은 적정하게 나타났다.
- 2) Particle track이 보균자인 운전자의 입으로부터 동승자인 입으로 흡입되는 경로를 적절하게 나타낸다.
- 3) 상대적으로 보조석 뒷좌석의 동승자가 가장 높은 비율로 부유미생물에 노출되며, 운전자 뒷좌석의 동승자가 가장 낮은 비율로 부유미생물에 노출된다.
- 4) 보균자의 위치에 따른 미생물유동에 따라 뒷좌석에 보균자가 있는 경우는 상대적으로 앞좌석은 부유미생물에 노출이 적었으며, 앞좌석에 보균자가 있는 경우 대각선 방향의 뒷좌석의 동승자가 높은 비율로 부유미생물에 노출된다.

이러한 결과들로부터 세단형 승용차의 경우 앞좌석에 보균자가 탑승하는 경우 공조장치의 동작에 따라 대각방향의 동승자가 최소 100번 정도의 호흡에 의해 ID50에 노출 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 대각방향 동승자의 미생물안전을 위하여 각각의 앞좌석 뒷부분에 공기살균장치를 설치한다면 승용차내부의 면역성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 운송수단이 공기감염 질병의 주요 이동경로인 것을 감안한다면 향후 더욱 다양한 교통수단에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

#### 6. References

- [1] S. G. Choi, J. K. Hong, 2005, The study on the performance estimation of UVC air sterilizer for preventing transmission of air borne contagion ,v.17n.6. , Journal of SAREK
- [2] S. G. Choi, W. H. Lee, J. K. Hong, 2006, A Study on the Multizone Modeling for Preventing Transmission of Air Borne Contagion , v.18 n.11., Journal of SAREK
- [3] K. b. Jeong, S. G. Choi, 2009, UV Immune System of Personalized Space, v.21n.01 , Journal of SAREK
- [4] S. G. Choi, 2010, A Study of air Sterilization System in Personalized Office Using Simulation, v.22n.06 , Journal of SAREK
- [5] G. Choi, 2012, A Study on CFD analysis of indoor microbe transport for microbiological safety, v.14, n.3, Journal of the Korea Safety Management and Science
- [6] ANSYS Inc., CFX User's Guide, 2011, ANSYS Inc
- [7] Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P., Whittam D. L., Severin, B.F., Whittam, T.S., Mathematical modelling of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection, Quantitative Microbiology 2, 249-270, 2000.
- [8] Bratbak, G. A., Dundas, I. 1984. Bacterial dry matter content and biomass estimations. Appl. Environ. Microbiol., 48, 755-757.

#### 저 자 소개

##### 최 상 곤



경원대학교 건축설비과 학사, 석사, 박사 취득. 현재 유한대학교 건축설비과 교수로 근무 중.

관심분야 : 공기조화, 실내 공기 미생물 환경, UVGI, 신재생 에너지, 플랜트 설비 등

주소 : 경기도 부천시 소사구 괴안동 185-34, 유한대학교 건축설비과