

# 시뮬레이션을 이용한 개별사무공간의 살균공조시스템 연구

최 상 곤<sup>†</sup>

유한대학 건축설비과

## A Study of air Sterilization System in Personalized Office Using Simulation

Sang-Gon Choi<sup>†</sup>

Department of Building Services, Yuhan University, Sosa, Bucheon 185-34, Korea

(Received March 2, 2010; revision received March 25, 2010)

**ABSTRACT:** Recently H1N1(swine flu) and SARS has been infected widely in the world; we have to care about germs and virus in indoor air environment. The air sterilization system investigated in this study allows occupants to turn on/off and to control the incoming air speed and direction. To predict the performance of air sterilization system without real experiment, a simulation is considered to compare and analyze the performance of the air sterilization systems in a typical office space. Multiple system parameters including volume flow rate and velocity of supply air were varied and investigated during the simulation. The investigation result shows that difference (between simulation and experiment) was about 3.5% in case of minimum air flow rate and about 0.2% in case of maximum air flow rate. The results indicate that multi-zone simulation technique can be used to predict the performance of a sterilization system in personalized office.

**Key words:** UVGI(자외선살균조사), Air sterilizer performance(공기살균기 성능)

### 기 호 설 명

$K$  : 부유세균의 표준율 상수 [ $\text{cm}^3/\mu\text{W} \cdot \text{s}$ ]  
 $E_{eff}$  : 부유세균이 받는 유효조사량 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]  
 $D_{ose}$  :  $E_{eff}$ 와  $\Delta t$ 의 곱, 조사량 [ $\mu\text{W} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$ ]  
 $L$  : 평균직경 [ $\mu\text{m}$ ]  
 $D_e$  : 유효직경 [ $\mu\text{m}$ ]  
 $m_{\alpha, i}$  : 존  $i$ 에서 오염원  $\alpha$ 의 질량 [kg]  
 $m_i$  : 존  $i$ 에서 공기의 질량 [kg]  
 $R_{\alpha, i}$  : 존  $i$ 에서 오염원  $\alpha$ 의 제거율, [0~1]

$C_{\alpha, i}$  : 존  $i$ 에서 오염원  $\alpha$ 의 질량비율, [0~1]  
 $C_{\beta, i}$  : 존  $i$ 에서 오염원  $\beta$ 의 질량비율, [0~1]  
 $F_{i, j}$  : 존  $i$ 에서 존  $j$ 로 흐르는 공기유량 [kg]  
 $F_{j, i}$  : 존  $j$ 에서 존  $i$ 로 흐르는 공기유량 [kg]  
 $K_{\alpha, \beta}$  : 존  $i$ 에서 오염원  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 운동반응 계수  
 $K_d$  : 낙하율 [1/h]  
 $V_z$  : 존의 체적 [ $\text{L}^3$ ]  
 $\rho_{air}(t)$  : 시간  $t$ 에서 공기 밀도 [ $\text{kg}/\text{L}^3$ ]  
 $C_{\alpha}(t)$  : 시간  $t$ 에서 오염 $\alpha$ 의 농도 [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]  
 $\mu_t$  : 난류 속도 [m/s]  
 $\rho$  : 유체의 밀도 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]  
 $v$  : 국부속도 [m/s]  
 $L_w$  : 가장 가까운 벽과의 거리 [m]  
 $\eta_{\alpha, j, i}$  : 존  $i$ 에서 존  $j$ 로 흐를 때 제거율, [0~1]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-2610-0784; fax: +82-2-2610-0785

E-mail address: tool007@yuhan.ac.kr

## 1. 서 론

나날이 악화되는 실내환경은 현대를 살아가는 인류에게 여러 가지 위협이 되고 있다. 신종인플루엔자 A(H1N1), 급성호흡기 증후군(SARS : severe acute respiratory syndrome), 조류 독감(AI : Avian influenza)의 세계적인 유행은 공기 중 부유세균에 의한 질병 감염의 심각성을 보여준다. 국내의 '2008년 건강보험심사 통계지표'에 따르면 급성호흡기감염증(감기) 외래 진료비가 1조 4천 990억 원(약국 약제비 제외)으로 암 입원 진료비 1조 8천 6억 원을 육박하고 있어, 가벼운 호흡기 질병에 의해 엄청난 사회비용을 지불하고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 연구에서는 사무실의 공기환경에서 부유세균 오염에 대한 대책으로서 자외선살균조사(UVGI : Ultra violet germicidal irradiation)를 이용한 살균장치를 도입하여 사무공간에 대한 살균공조시스템에 관한 연구를 수행 하였다.

연구를 위하여 기존 연구들에서 사용된 개인공조시스템의 하나인 칸막이 급기장치에 살균장치를 삽입한 칸막이형 살균시스템과 벽에 부착할 수 있는 벽부착형 살균시스템을 대상으로 하였다. 칸막이형 급기장치는 선행된 실험적인 연구<sup>(1)</sup>를 통하여 천장급기, 바닥급기 보다 쾌적도가 높고 살균장치를 따로 설치하는 경우보다 사무실의 쾌적도와 실내부유세균오염 제거라는 두 가지 조건을 동시에 만족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구에서는 부유세균 관련 실험 및 실제 실내환경의 제한 등 실험적인 접근이 어려운 상황에 대한 대안으로 기존의 실험에 대한 시뮬레이션 모델을 제시하고 이들이 나타내는 결과를 실험적인 결과와 서로 비교하도록 하였다. 또한 제시한 모델을 이용하여 실험할 수 없었던 상황을 모사하고 이 결과들을 바탕으로 시뮬레이션의 이용이 적절한 결과를 가져올 수 있을 것인가에 대하여 판단할 수 있도록 하였다. 이 연구에서는 상대적으로 해석 시간이 짧고 모델링이 간편한 Air-network 해석 프로그램인 CONTAM 2.4를 주로 사용하여 전체적인 해석을 수행하고 실험적인 결과와 해석 결과가 서로 상이한 결과를 보일 때 원인을 분석하기 위한 도구로서 CFD 상용프로그램인 Airpak을 이용하였다. 특히 이 연구에서는 부유세균의 자연제거에 관한 모델을 추가하여 그 동안 시뮬레이션에서 적용하기 어려웠던 부유세균의 낙하, 부착, 자연사멸을 멀티존 모델에서 간단하게 모사할 수 있도록 하였다.

## 2. 모델 구성 및 실험 방법

### 2.1 멀티존 모델

멀티존 모델은 미국국립표준연구소(NIST)에서 개발되어 환기해석에 적용되고 있는 시뮬레이션 프로그램인 CONTAM 2.4를 사용하도록 하였다. CONTAM 2.4는 멀티존에 대한 해석을 위해 CFD에서 하나의 존이 수많은 격자를 가지는 것에 비해서 각각의 존이 단일성질을 가지는 격자점이 되고 각 계산 간격마다 완전 혼합(well-mixed)되는 것으로 가정하여 질량평형을 만족한다. 따라서 계산간격마다 존 내부의 오염 이동과 잔류 등을 쉽게 알 수 있다. 이때 모든 존에서 질량보존의 법칙을 만족하기 위하여 뉴턴 랩슨법(Newton-Raphson method)을 통하여 비선형 대수방정식을 계산하여 압력과 질량유량을 구하게 된다. 식(1)은 멀티존 시뮬레이션을 수행하기 위한 CONTAM 2.4에서의 오염원에 관한 지배 방정식을 나타내고 있다.<sup>(2)</sup>

$$\begin{aligned} \frac{dm_{\alpha, i}}{dt} = & -R_{\alpha, i} C_{\alpha, i} - \sum_j F_{i, j} C_{\alpha, i} \\ & + \sum_j F_{j, i} (1 - \eta_{\alpha, j, i}) C_{\alpha, j} \\ & + m_i \sum_{\beta} k_{\alpha, \beta} C_{\beta, i} + G_{\alpha, i} \end{aligned} \quad (1)$$

Fig. 1에는 실험실 구조도를 나타내었고, Fig. 2에는 Fig. 1의 실험실을 모사한 멀티존 모델의 평면을 나타내었다. 평면에서 실험실의 공조기(AHU)와 디퓨저(SA, RA), 실험대상인 살균장치(Air sterilizer)와 오염원(Pollution source)을 포함하도록 하였다.

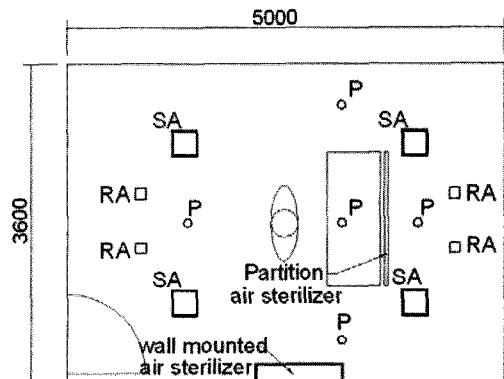


Fig. 1 Diagram of Lab.

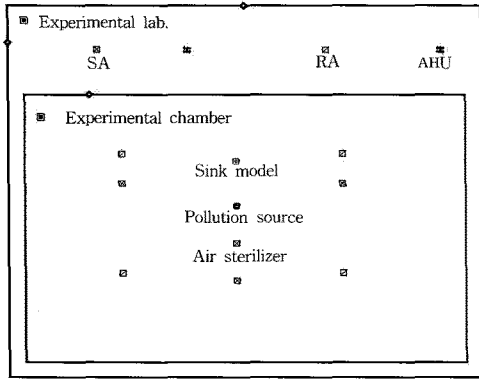


Fig. 2 Multi-zone model.

2.2 부유세균 모델

연구에 사용한 공기 감염 부유세균은 실험자 및 외부환경에 위해를 미치지 않는 비병원성 세균인 고초균(*Bacillus subtilis*)을 실험 대상으로 선정하였다. 고초균은 호기성 세균으로 막대 모양의 그람양성(*Gram positive bacillus*)의 간균(*bacillus*)이다. 탄저균과 결핵균 등과 동속으로 비병원성이고 아포를 형성하여 저항력이 강하다. 이러한 고초균의 사용은 동속이기 때문에 가지는 탄저균과 같은 병원균과의 유사성과 더불어 공기를 통해 전파되며, 아포를 형성한다는 점에서 필요한 특징을 가지고 있어 탄저균이나 결핵균과 같은 공기전염성 병원성균을 모사하기 위하여 사용되었다.

고초균과 같은 구형이나 계란형, 짧은 막대형의 세균은 평균직경을 사용하여 구 형태로 가정함으로써 식(2)와 같이 유효직경을 나타낼 수 있다.<sup>(3)</sup>

$$De = L \tag{2}$$

그러나, 종횡비가 3.5보다 큰 경우의 수학적 접근은 Matteson과 Orr이 1987년 실험적인 방법을 통하여 다음 식(3)과 같이 나타내었다.<sup>(3)</sup>

$$De = 0.285L [Re < 2.0] \tag{3}$$

따라서 고초균을 모사한 부유세균 모델은 2.1 μm의 평균직경을 사용하였고, 밀도의 경우는 Bratbak and Dundas에 의해 제시된 1,100 kg/m<sup>3</sup>을 사용하도록 하였다.<sup>(4)</sup> 실내 측정 시 총 부유세균량의 단위인 CFU/m<sup>3</sup>을 이용하기 위하여 부유세균의 개수를

입력하는 모델로 구성하였다.

2.3 UVGI 모델

살균장치 모델에 이용한 단일 부유세균의 균집에 대한 자외선 조사(UVGI)의 성능은 식(4)와 같이 식으로 나타낼 수 있다.<sup>(3)</sup>

$$\begin{aligned} \frac{N_t}{N_o} &= \exp(-kE_{eff} \cdot \Delta t) \\ &= \exp(-k \cdot Dose) \end{aligned} \tag{4}$$

위와 같이 정의하는 경우 시간 t후의 부유세균의 제거율은 (1- Nt/No)으로 나타낼 수 있다. UVGI 모델은 제거 대상이 되는 부유세균에 대하여 일정한 효율을 나타내는 고정 살균율 모델로 하였다. 대상균에 대한 살균율이 50%~95%를 5% 단위로 UVGI5~UVGI14까지 10등급으로 나누었으며, UVGI5는 살균율 99%를 UVGI6은 살균율 100%가 되도록 설정하였다.

2.4 자연제거 모델

낙하, 부착, 자연사멸 등의 자연제거율은 Deposition rate sink model을 이용하여 Jeong and Choi의 실제 실험에서 측정된 살균장치에 의한 제거율<sup>(5)</sup> 이외의 모든 제거율을 sink model을 통하여 제거하는 방식으로 모델링 하였다. 모델은 다음 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.<sup>(2)</sup>

$$R_{\alpha}(t) = K_d V_z \rho_{air}(t) C_{\alpha}(t) \tag{5}$$

자연제거 모델은 낙하율  $K_d$ 를 실험데이터에 의해 결정함으로써 살균장치에 의해 제거되는 제거량 이외의 모든 제거량을 한 번에 모사할 수 있다. 현장실험의 최소화를 위하여 최소 풍량과 최고 풍량에서 실험된 실험결과만을 이용하고 최소와 최고 풍량 사이의 낙하율을 간단한 선형적 증가로 가정하여 모델링하고 그 결과를 살펴보도록 하였다.

2.5 오염원 모델

실험에서는 Fig. 3과 같은 인체모형을 사용하여 의료용 분무기를 통해 약 10<sup>7</sup> 개/ml개 정도로배양된

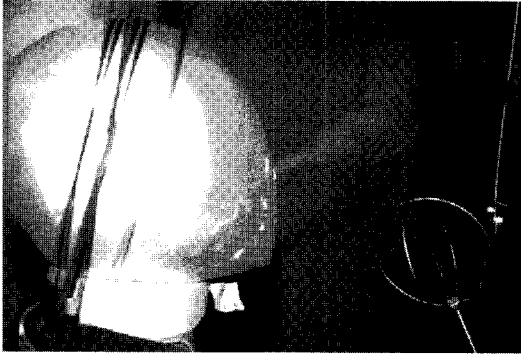


Fig. 3 Bio-pollution spray by human model.

고초균 배양액을 0.3 ml/min, 평균 직경 2.1  $\mu\text{m}$ 로 10분 간 살포하는 것으로 하였다. 이러한 사람의 호흡을 통하여 발생하는 오염원은 들숨과 날숨에 따라 오염원 배출간격이 생기지만 실험의 모사를 위하여 실험과 동일한 상황을 그대로 인체모형을 사용하여 모델링하도록 하였다.

## 2.6 CFD 모델

CFD에서는 Fig. 2와 동일한 실험실에 대하여 약 12만 개의 격자를 구성하도록 하였다. 부유세균의 경우는 앞서 설명한 부유세균 모델에서 사용한 값을 동일하게 적용하여 파티클로 가정 하였으며 난류모델은 HVAC 환경에 대하여 Airpak에서 제공하는 indoor zero equation을 사용하도록 하고 이를 식(5)에 나타내었다.<sup>(6)</sup>

$$\mu_t = 0.03874\rho\nu L_w \quad (5)$$

여기서 0.03874 : 실험적인 계수

## 2.7 시뮬레이션 방법

시뮬레이션으로 모사하기 위한 실험은 기존에 수행된 실험적인 연구(Jeong and Choi)를 바탕으로 수행 되었다.<sup>(5)</sup> 실험은 시뮬레이션에 앞서 Table 1의 조건으로 수행 되었으며, 이때 살균기는 UVGI5 등급으로 고정 하였다. 오염원의 배출은 앞서 제 2.5절에 언급한 인체모형에 의한 오염원의 배출량으로 하고, Table 1에 나타낸 공조 조건에서 부유세균을 포집하여 결과를 나타내었다. 연구는 크게 두 가지로, 벽부착형 살균기를 사용할 경우와 파티션

Table 1 Experimental and simulation Condition

AHU	Air sterilizer	
Air volume (ACH)	Type	Air volume (ACH)
0.7	None	-
	Wall mounted	0.7
	Partition	0.175
	Out air	0.7
18.5	None	-
	Wall mounted	1
	Partition	1

형 살균기를 사용하는 경우에 대하여 수행 되었다. 벽부착형의 경우는 바닥에 설치된 4개의 급기구와 천정에 설치된 4개의 환기구를 통하여 공조기 풍량을 공급하고 따로 실내에서 재순환방식으로 실내의 공기를 벽부착형 살균기에서 살균기 풍량에 따라 순환하는 것으로 하였다. 파티션형 살균기를 사용하는 경우는 바닥의 급기구 중 1개를 파티션형 살균기에 연결하고 급기가 파티션을 통과한 후 실내에 급기되고 천정에 설치된 4개의 환기구를 통하여 공기가 순환되는 방식이다.

파티션형 살균기를 통과하는 풍량은 파티션형 살균기에서 직접 조절이 가능하도록 하여 살균기 순환 풍량에 따라 조절할 수 있도록 하고, 이때 살균기의 순환풍량을 공조기 풍량 5ACH 이상에서는 모든 경우에 대하여 1ACH로 조정하여 그 결과 값을 비교하도록 하였다. 이후 공조기의 풍량을 5ACH 씩 증가하도록 하고 이때 낙하율을 최소 풍량과 최대 풍량에서 측정된 실험값 사이에서 선형적으로 증가하는 값을 사용하여 그 결과를 확인 하도록 하였다. 즉 공조기의 풍량 증가로 인한 낙하 또는 부착으로 인한 제거량을 쉽고 간단한 방법으로 예측하여 적용하여도 그 결과 값이 의미를 가질 수 있을 것인가에 대한 판단을 위하여 연구를 수행하였다.

CFD 모델은 정상상태에 대한 결과 값을 도출할 수 있도록 하였다. 본 연구의 기본적인 목적인 실험 결과와의 비교를 위하여서는 10분 동안 부유세균을 방출하고 이를 시간 경과에 따라 살펴 볼 수 있는 경과상태에 대한 모사를 하여야 할 것이나 이러한 경과상태 시뮬레이션은 장시간의 작업과 높은 사양의 컴퓨터를 요하기 때문에 사실상 어려운 것이 현실이다. 따라서 동일한 상황에 대한 초기상태의 정상상태 결과를 이용하여 실험적인 결과 값과 시뮬

레이션의 결과 값이 서로 다른 이유를 알아보기 위한 보조도구로서 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 자연제거율 적용

Fig. 4에 최소와 최대 풍량에서 얻은 자연제거율의 실험 결과를 이용하여 최소와 최대값 사이의 낙하율 증가가 선형적으로 증가한다고 가정할 경우의 각각의 공조기 풍량에 따른 낙하율( $K_d$ )을 나타내었다. 이 결과는 최소와 최대 풍량에서의 실험값을 기초로 각 풍량변화에 대한 자연제거 모델의 낙하율을 예측하기 위해 나타내었다. 모든 경우에 대하여

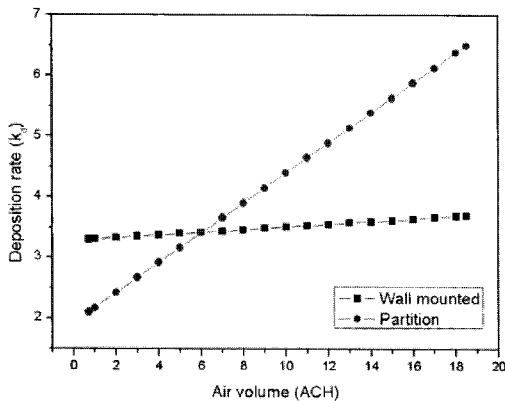


Fig. 4 Deposition rate in case of varying air flow rate.

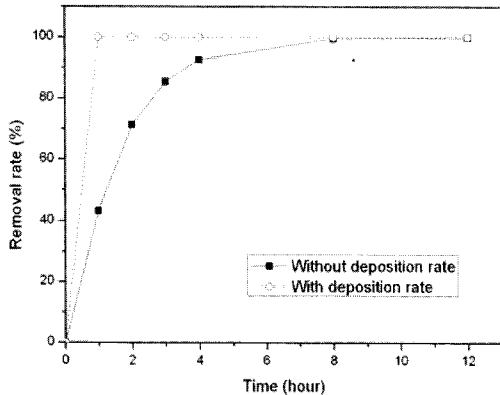


Fig. 5 Comparison of partition type between with and without deposition rate in case of 0.7 ACH.

실험하고 그 값을 기초로 낙하율을 정하여야 하지만 실험의 반복의 최소화 및 실제 현장에서의 적용을 감안하여 다양한 풍량변화에 따른 예측 값을 간단하게 구하기 위해 선형 변화로 가정하도록 하여 결과를 보였다.

Fig. 5에 Fig. 4의 결과를 이용한 자연제거 모델을 사용한 경우와 그렇지 않은 경우를 나타내었다. 자연제거모델을 사용하지 않는 경우는 발생한 오염을 살균기에 의해서만 제거되도록 한 것이며, 자연제거모델을 사용한 경우는 살균기 이외의 모든 제거율을 낙하율로 가정한 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 두 모델이 초기 살균율에서 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

#### 3.2 파티션형 살균기 시뮬레이션 결과

Fig. 6와 Fig. 7은 파티션형 살균기를 설치하는 경우 모델이 실험적인 결과를 충실히 모사하였는가를 알아보기 위하여 나타내었다. Fig. 6에는 공조기를 0.7회/h, 파티션 통과 풍량이 0.175회/로 최소 풍량 조건에 대한 실험적인 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. 최소 풍량인 Fig. 6의 결과는 2시간 경과 시에 최대인 약 3.5% 정도의 오차를 보이고 있다. 반면 Fig. 7에는 공조기를 18.5회/h, 파티션 통과 풍량이 1회/로 최대 풍량조건에 대한 실험적인 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. Fig. 7의 최대 풍량인 경우에는 8시간 경과 시에 최대 0.2%의 오차를 보이는 것으로 나타나, 공조기의 풍량이 많은 경우는 시뮬레이션의 결과가 실험값을

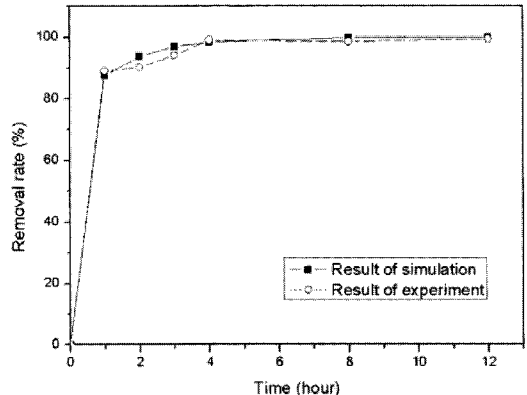


Fig. 6 Comparison of partition type between experiment and simulation in case of 0.7 ACH.

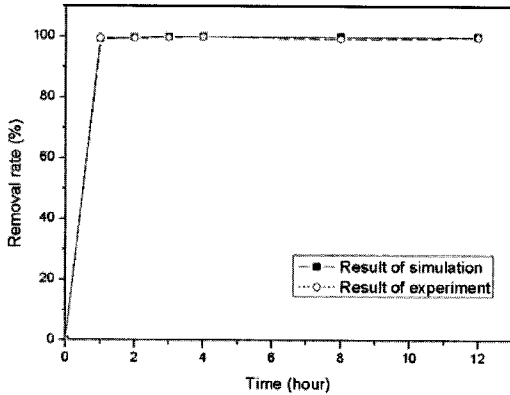


Fig. 7 Comparison of partition type between experiment and simulation in case of 18.5 ACH.

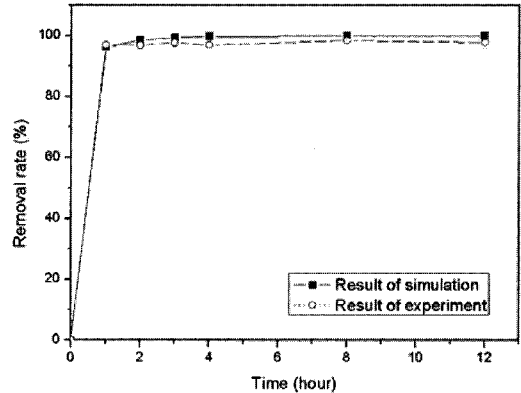


Fig. 9 Comparison of wall mounted type between experiment and simulation in case of 18.5 ACH.

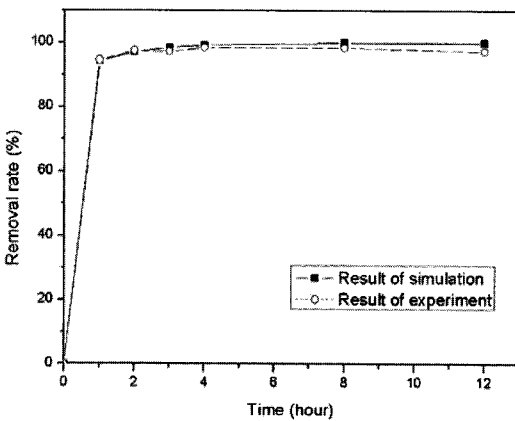


Fig. 8 Comparison of wall mounted type between experiment and simulation in case of 0.7 ACH.

충실히 추종하는 것으로 나타났다. 저풍량일 경우 실제 실험과 시뮬레이션 사이에 약 3.5% 정도 발생한다. 이 결과는 저풍량의 초기시간에서 발생하는 것으로 파티션형 살균기의 풍량이 상대적으로 적어 파티션형 살균기를 통과하는 오염균의 절대량이 균일하지 않은 상황에서 실험이 수행되기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 벽부착형 살균기 시뮬레이션 결과

벽부착형 살균기를 설치하는 경우에 대하여 실험적인 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교하기 위하여 Fig. 8과 Fig. 9에 결과를 비교하였다. Fig. 8에는

공조기를 0.7회/h, 벽부착형 살균기 통과 풍량이 0.7회/h로 최소 풍량 조건에 대한 실험적인 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. Fig. 9에는 공조기를 18.5회/h, 파티션 통과 풍량이 1회/h로 최대 풍량 조건에 대한 실험적인 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. 벽부착형 살균기를 설치하는 경우에는 천정의 일부공간에 살균기에서 발생하는 UVGI가 직접 노출되는 공간이 살균에 직접작용하기 때문에, 풍량의 고저에 상관없이 초기 4시간 이전의 시간대의 제거율 오차가 최대 1%로 추종성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 4시간 이후에 최대 2% 정도의 오차를 보이는 것으로 나타났다.

### 3.3 CFD 결과

앞서 Fig. 6에서 Fig. 9에 나타나는 오차의 이유를 알아보기 위하여 Fig. 10과 Fig. 11에 오염균의 농도분포와 발생한 균 중 10개를 particle traces로 나타낸 CFD결과를 나타내었다.

Fig. 10과 Fig. 11에서 보는 것과 같이 벽부착형 살균기의 경우는 측벽에서 따로 기류를 형성하기 때문에 재실자의 호흡으로 발생된 세균이 실험실 한쪽으로 편중되는 것으로 나타났다. 편중현상은 초기에 UVGI에 직접 노출되는 공간이 살균에 직접 작용하여 실험적인 결과와 멀티존 시뮬레이션 결과가 서로 차이가 없는 것으로 나타나지만, 시간이 경과되면서 제거율에 영향을 미친다. 그 이유는 멀티존 시뮬레이션의 경우 계산간격마다 실험실 내부가 전부 동일한 조건으로 가정되기 때문에 실험과 시

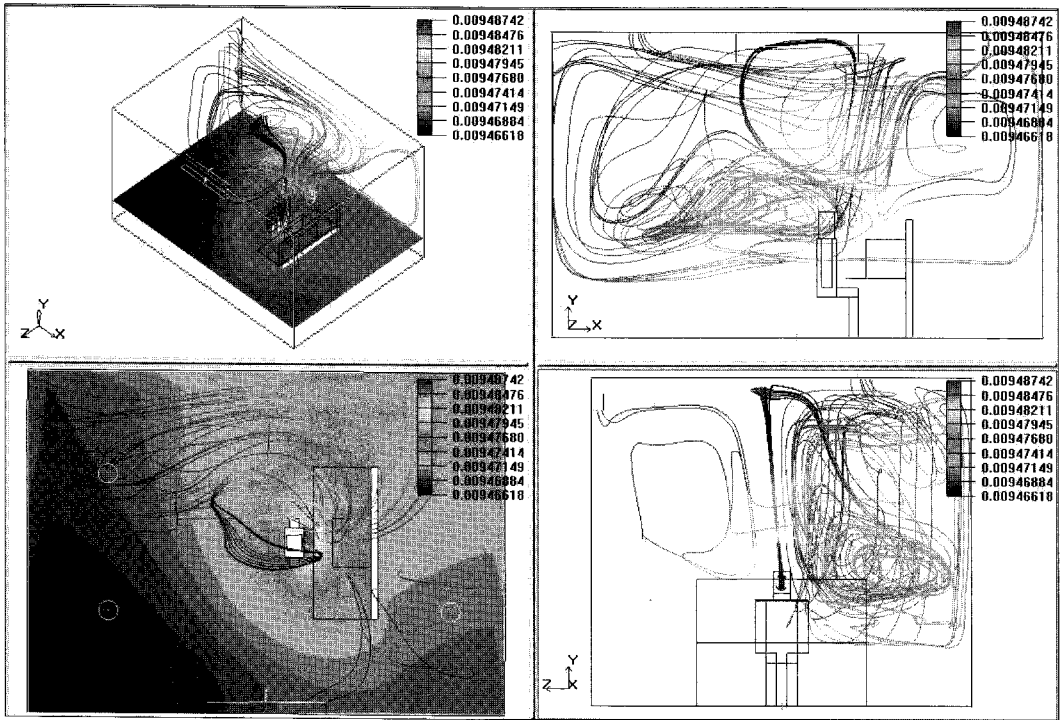


Fig. 10 CFD results of wall mounted type in case of 0.7 ACH.

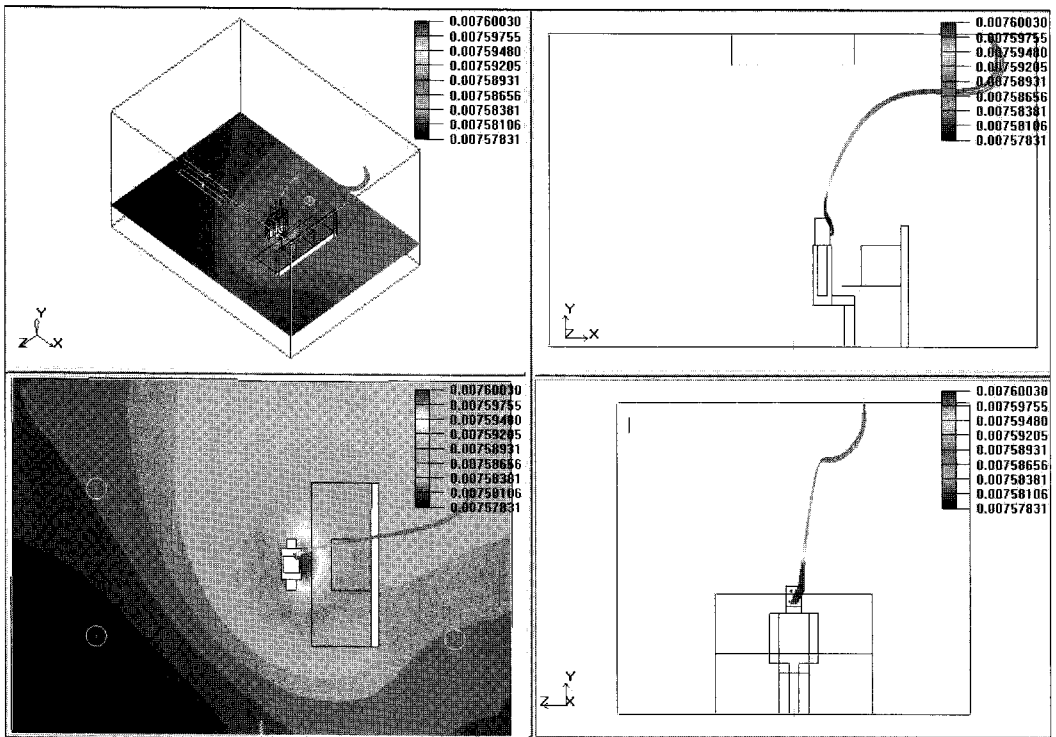


Fig. 11 CFD results of wall mounted type in case of 18.5 ACH.

물레이션의 결과에 오차가 발생하는 것으로 판단된다. 앞서 Fig. 6에서 Fig. 9의 결과들은 멀티존 시물레이션을 이용하여 저풍량에서는 최대 오차 약 3.5%, 고풍량에서는 최대 오차 약 2% 정도의 높은 추종성을 보이는 결과를 도출 할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 멀티존 시물레이션이 하나의 실을 하나의 격자점으로 인식하고 각 계산간격마다 일정한 값을 가지기 때문에, CFD와 같은 세밀한 결과를 알 수는 없지만 짧은 시간에 간단한 모델링을 통하여 의미 있는 결과를 얻어낼 수 있다는 것만으로도 향후 부유세균 오염에 대한 예측에 많은 도움을 줄 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

실내 재실자가 병원성 전염병에 걸려 실내를 오염시킬 경우 실내 부유세균 오염의 제거를 예측하기 위한 시물레이션 분석방법으로 개인공조 시스템의 하나인 칸막이 급기장치에 살균장치를 삽입한 칸막이형과 벽에 부착할 수 있는 벽부착형 살균장치를 대상으로 연구를 진행한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) 멀티존 시물레이션을 이용하면 최대 오차 약 3.5%, 최소 약 0.2% 정도의 높은 추종성을 보이는 결과를 예측 할 수 있는 것으로 나타났다.
- 2) 멀티존 시물레이션에 자연제거모델을 사용하면 낙하 또는 부착 등 각종 자연제거에 의한 부유세균 제거량을 적절히 나타낼 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 자연제거에 의한 낙하율을 선형적인 증가로 예측 값을 적용하여도 적절한 제거율을 도출 할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 실험을 통하여 최소와 최대의 풍량에서 낙하율을 측정하면 기존의 통제된 환경의 실험실에서 뿐만 아니라 실제 현장에서도 최

소의 실험으로 부유세균오염제거 예측에 멀티존 시물레이션을 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이러한 예측이 설계단계에서 필요하게 된다면 부유세균오염의 낙하율 또한 실험 없이 시물레이션으로 예측 가능하여야 할 것이다. 향후 낙하, 부착, 사멸과 같이 공기 중에서 자연스럽게 제거되는 자연제거에 관한 최소와 최대풍량에서의 자연제거량도 예측가능 하도록 하기위해 데이터의 축적이 필요할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 2009년도 유한대학 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Jeong, K. B., 2006, Numerical simulation and experimental measurement on cooling characteristics of partition air supply system, Vol. 22, No. 10, Journal of Architectural institute of korea, pp. 287-294.
2. NIST, CONTAM 2.4 User Guide and Program Documentation, NISTIR 725
3. Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P., Whittam D. L., Severin, B. F. and Whittam, T. S., 2000, Mathematical modelling of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection, Quantitative Microbiology Vol. 2, pp. 249-270.
4. Bratbak, G. A. and Dundas, I., 1984, Bacterial dry matter content and biomass estimations. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 48, pp. 755-757.
5. Choi, S. G. and Jong, K. B., 2009, UV Immune System of Personalized Space, V.21n.1, Journal of SAREK, pp. 63-70.
6. Fluent Inc, 2007, Airpak 3.0 users guide, NH 03766.