

# 멀티존 시뮬레이션에 의한 공동주택의 미생물 오염원제거 성능평가에 관한 연구

최 상 곤\*, 박 경 수\*, 윤 영 수\*\*, 홍 진 관\*\*\*\*  
경원대학교 대학원, \* 대림산업(주)\*\*, 경원대학교 건축설비학과\*\*\*

The study on the performance of air sterilization of multistoried apartment  
by the multizone modeling

Sang Gon Choi<sup>†</sup>, Kyung Su Park<sup>\*</sup>, Young Soo Yoon<sup>\*\*</sup>, Jin Kwan Hong<sup>\*\*\*\*†</sup>

<sup>\*</sup> Department of Building Equipment & System Eng, graduate school of Kyungwon University,  
Sungnam City 461-701, Korea

<sup>\*\*</sup> DaeLim Construction Co. Ltd, 146-12, Susong-Dong, Jongno-Gu, Seoul 110-732, Korea.

<sup>\*\*\*\*</sup> Department of Building Equipment & System Eng, Kyungwon University, Sungnam City 461-701, Korea

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to evaluate the efficacy of multizone simulation that enables to grasp of details about microbial contaminant problem in an multistoried apartment. We used actual indoor test data to figure up microbial contaminant level as initial value for the multizone simulation and estimated the various effects of indoor occupant infected with germs and the performance of air sterilization by using multizone simulation in substitute for infeasible experimental approach. The results show that natural ventilation make ourselves generally useful for removing indoor microbial contaminants. The results also show that the performance of air sterilization reach the maximum in the case of using mechanical ventilation and UVGI air sterilizer. The conclusion is that this multizone simulation is useful tool for actual design method for Immune building systems.

**Key words:** Bacteria(세균), Fungus(진균), Immune building(면역건물), Multizone modeling(멀티존모델링), Multistoried apartment(공동주택), UVGI(자외선 살균)

## 1. 서 론

근래에 아토피성 피부염의 주요원인으로 주거 공간에 대한 공기환경이 많은 관심을 불러일으키고 있다. 이러한 관심은 VOCs 에 국한되어 발생

한 것이 아니라 진드기, 세균 및 곰팡이 등의 미생물오염에 대한 관심 또한 이른바 현집증후군의 관점에서 선진국에서는 이미 중요한문제로 인식되고 있다.

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 실제측정 실험을 통한 기초조사와 멀티존 시뮬레이션 기법을 도입하여 실내 미생물의 환경과 미생물오염원 제거성능을 평가하도록 하였다. 공동주택의 미생물환경을 알아보기 위해 실측한 Data를 해석을 위한 초기 기초자료로 사용하여, 실제상황에서

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel : +82-031-750-5306

FAX : +82-031-750-5314

E-mail : jkhong@kyungwon.ac.kr

실험으로는 평가가 어려운, 실내 재실자가 병원균에 감염이 되었을 경우 주위 환경에 미치는 영향을 멀티존 시뮬레이션 기법을 활용하여 예측해 보고자 하였다. 또한 미생물오염원의 제거를 위한 방법을 모색하기 위하여 기존연구<sup>(1)</sup>에서 개발된 UVGI(Ultra Violet Germicidal Irradiation) 와 필터가 조합된 Air sterilizer와 환기기술을 적용한 성능평가를 위하여 멀티존 시뮬레이션 기법을 적용하여 실제 공동주택에서의 미생물오염원 저감성능을 평가해 보고자 하였다.

## 2. 연구 수행

### 2.1 공동주택 실내미생물 환경 측정

해석모델설정은 D사에서 시공한 서울시내에 위치한 공동주택을 대상으로 하였다. 실제적이고 신뢰성 있는 해석을 위하여 현장에서 실내공기중의 미생물을 포집하여 개수하고 이를 모델의 초기 실내오염 데이터로 사용하도록 하였다. 대상 공간의 초기 조건설정을 얻기 위해서 공동주택의 현장 측정 24시간 전부터는 일체의 환기시설을 운전하거나, 창문을 통한 환기 등은 하지 않는 조건으로 하였다.

### 2.2 미생물 오염 확산 및 발생 모델

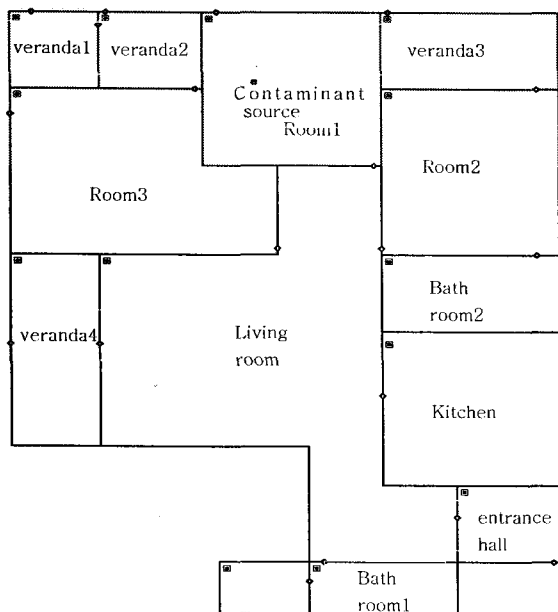


Fig. 1 Microorganism diffusion and generation model

Table.2 Input data of multizone model

zone	Zone volume (m <sup>3</sup> )	Flow path	Flow path total length (m)	Leakage area (cm <sup>2</sup> /m)
Room1	36.5	window	7.65	0.72
		door	6	0.31
Room2	37	sliding door	8.5	5.5
		door	6	0.31
		bathroom door	6	0.31
Room3	27.3	window	9	0.72
		door	6	0.31
kitchen	34	sliding door	5.75	5.5
Bath room1	10.9	bathroom door	6	0.31
Bath room2	17	bathroom door	6	0.31
Living room	105.5	sliding door	11.5	5.5
		bathroom door	6	0.31
		enter door	6	12
Entrance hall	7.5	elevator door	12	0.26
veranda1	4.5	window	4.2	0.72
veranda2	13.1	window	7.5	0.72
veranda3	12	window	8.4	0.72
veranda4	17.25	window	13	0.72

Fig.1에 미생물오염 확산 및 발생이 실제 공동주택의 환경에서 일어날 경우를 모사하기 위한 멀티존 모델을 나타내었다. 미생물오염원의 경우 벽에서 발생할 수 있는 크랙이나 벽과 벽의 접합부를 통한 공기이동통로(Airflow path)에 의한 오염 확산은 무시할 수 있을 정도의 매우 미약할 것이므로, 공동주택의 멀티존 모델에서는 모델구성의 용이성을 위하여 벽을 통한 미생물오염원의 확산은 없는 것으로 가정하였다. 이에 비해 상대적으로 크랙의 크기와 구성이 미생물오염의 확산에 영향을 미칠 수 있는 문이나 창문 등을 모델에 포함하여 문틈이나 창틈을 통한 미생물오염원의 이동을 예측할 수 있도록 하였다.

Table.2 에는 공동주택의 모델에서 사용한 기

본 입력 값을 나타내었다. 공기가동통로들의 기밀도<sup>(2)</sup>는 ASHRAE에서 제공하는 수치를 적용하였다. 미생물오염의 기본적인 오염량은 앞서 측정된 미생물 오염 기초 데이터를 사용할 수 있으나, 사람이 질병에 걸려 병원균을 방출하는 오염원일 경우는 질병의 종류, 환자의 상태 등 여러 요인에 의해 다르게 나타날 수 있다. 이러한 인자들을 전부 고려하기에는 사실상 어려움이 있기 때문에 기본적으로 체중이 80kg인 남성의 제실자가 있는 경우 분당 100CFU/m<sup>3</sup>의 미생물오염원을 발생한다고 가정하였다.

### 2.3 미생물오염 제거 모델

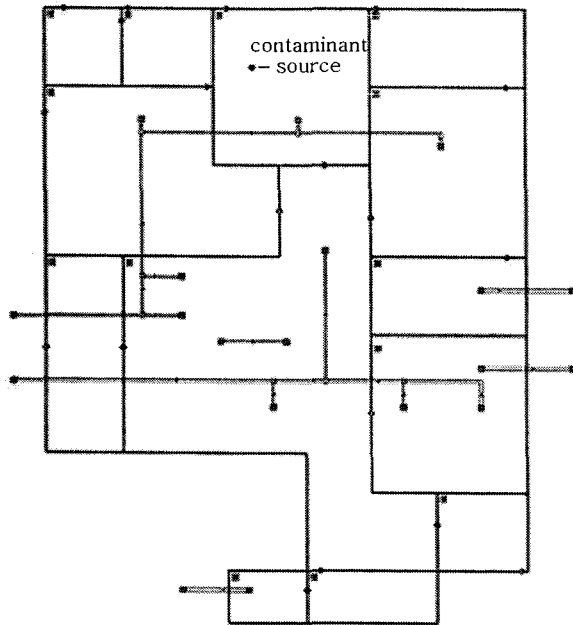


Fig. 2 Multi-zone modeling for combination of filter and UVGI models

Fig.2 에 미생물오염원을 제거하기 위해 설정한 모델을 나타내었다. 기본적인 구성은 Fig.1과 동일하며, 기계환기장치인 HRV(폐열회수환기유닛)가 기본적으로 설치되고 필터와 UVGI가 조합된 살균장치를 추가설치할 경우에 대한 미생물오염원 제거 성능을 파악하고자 하였다. Fig.2에서 환기를 위해 설치된 덕트와 디퓨저 및 풍량을 Table.3에 표시하였고, 각각의 환기장치가 동작할 경우와 정지할 경우 및 각각의 환기장치의 풍량이 변할 때 실내 미생물오염원 제거에 대한 성능을 해석하고 이를 비교 하였다.

Table.3 Input data of duct work

Zone	Zone volume (m <sup>3</sup> )	Supply air volume (m <sup>3</sup> /h)	Return air volume (m <sup>3</sup> /h)	Diffuser diameter (mm)	
				SA	RA
Room1	36.5	20	-	100	-
Room2	37	30	-	100	-
Room3	27.3	40	-	125	-
Living room	105.5	60	80	100	125
kitchen	34	-	80	-	125
Bath room1	10.9	-	60	-	125
Bath room2	17	-	60	-	125

또한 거실 중앙에 필터와 UVGI가 조합된 살균장치를 설치하도록 하여, 살균장치가 가동될 때 실내 미생물오염의 제거성능을 평가할 수 있도록 하였다. 살균장치에 적용된 필터는 ASHRAE standard 52.2<sup>(3)</sup> 의 MERV 등급에 따라 MERV6 ~ MERV20 모델을 적용하였다. 또한 동일 장치에 부착된 UVGI 모델은 제거 대상이 되는 미생물에 대하여 일정한 효율을 나타내는 고정 살균율 모델을 적용하였다. 대상균에 대한 살균율이 50%~95%를 5% 단위로 UVGI5~UVGI14 까지 10등급으로 나누었으며, UVGI15는 살균율 99%를 UVGI16은 살균율 100%가 되도록 하였다. 본 연구에서는 각각의 장치가 실내 미생물오염원 제거성능에 미치는 영향을 판단하기 위하여 실내 환기량을 각 실체적의 0.7회/h, 살균장치를 통한 풍량이 0.7회/h, 살균장치를 구성하는 MERV 필터 등급과 UVGI 등급이 MERV6와 UVGI6일 경우에 대한 해석을 수행하였다.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

Table. 4에 대상으로 한 공동주택의 실제 거주 상태에서 측정된 실내미생물 환경 측정 결과를 나타냈다. Table.4에서 보는 바와 같이 부유세균을 크게 일반세균과 일반진균으로 나누어 나타냈으며 각 실에서 3회 측정된 값을 평균으로 나타내도록 하였다. 측정된 총 평균량인 2,542 CFU/

m³을 모델설정시 대상공간의 초기값으로 하였다.

Table. 4 Test result of indoor microorganism by air-sampler

Strain	Room1	Room2	Living room
Bacteria (CFU/m³)	2,510	2,483	2,013
Average			
Fungus (CFU/m³)	257	223	140
Average			
Total average	2,542		

Fig.3에 미생물 오염 발생 및 확산모델에서 Room1에 앞의 Table.4에서 제시된 초기 미생물 오염원이 있을 경우, 실내의 모든 문을 닫아 놓은 경우의 해석결과를 나타내었다. 문을 닫아 놓은 경우 Room1에 오염된 미생물의 양은 점차 줄어드는 것을 볼 수 있으며, Room2를 제외한 다른 인접공간으로 아주 미세한 양 만큼 확산되는 것을 볼 수 있다. 실험이 이루어진 공동주택의 경우 상대적으로 외기와 접한 곳이 적기 때문에 각 실의 문을 모두 닫아 놓은 상태에서는 실내 미생물오염원의 변화가 아주 적은 것을 볼 수가 있다.

Fig.4에 미생물 오염 발생 및 확산모델에서 Room1에 측정된 기초 미생물 오염량만큼 미생물 오염이 있을 경우, 각 실의 문을 열어 놓은 경우를 나타내었다. 결과에서 보는 것과 같이 약 1시간 정도가 지나면 Room1에 있던 미생물오염원이 공동주택의 실내 모든 곳에 확산되어 조금씩 줄어드는 것을 볼 수 있다.

Fig.5에 미생물 오염 발생 및 확산모델에서 Room1에 측정된 기초 미생물 오염량 만큼 미생물 오염이 있을 경우, 각 실의 문을 열어 놓은 상태에서 Room1의 창문을 열어 환기시키는 경우의 결과를 나타내었다. 창문을 열어 환기를 시킬 경우에는 오염의 확산은 아주 소량 되었다가 다시 약 두 시간이 지나면 완전히 제거되는 것으로 나타났다. 창문을 열어 환기하는 경우 미생물 오염 제거 성능이 높다는 것을 알 수 있다.

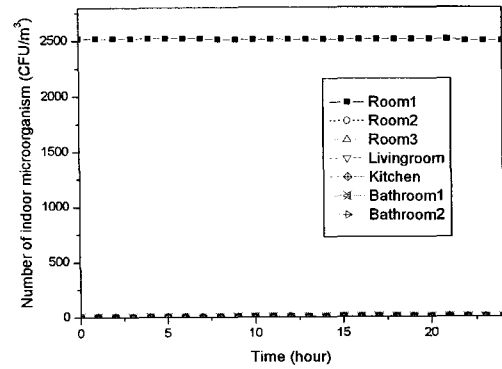


Fig. 3 Simulation result in case of door closed

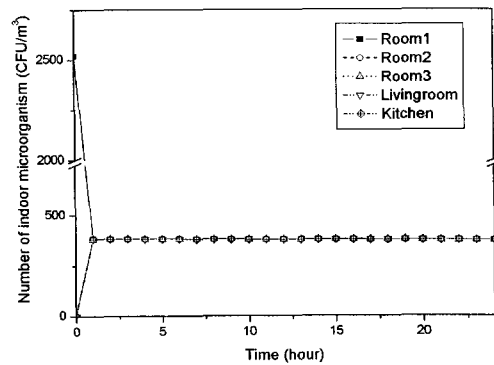


Fig. 4 Simulation result in case of door opened

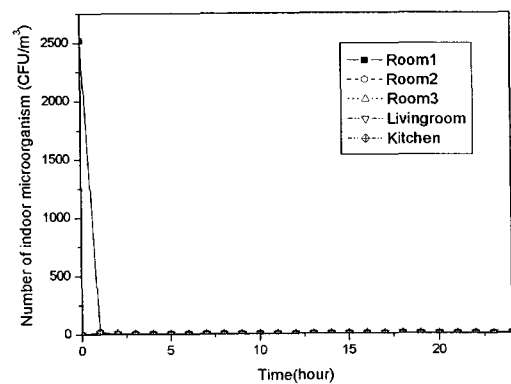


Fig. 5 Simulation result in case of window and door opened

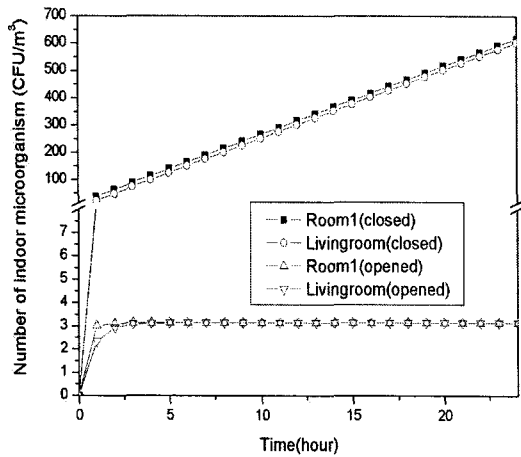


Fig. 6 Simulation result in case of window closed or opened

Fig.6에 미생물 오염 발생 및 확산모델에서 Room1의 재실자가 전염성 질병에 걸려 100 CFU/min의 미생물오염원을 발생시킬 경우, 실내의 문을 열었을 경우에 각각 창문을 통하여 환기를 할 경우와 하지 않았을 경우의 결과를 나타내고 있다. 계속적인 오염의 발생이 있는 경우 창문을 통한 환기가 없으면, 오염이 발생하는 Room1과 인접실인 Living room은 약간의 차이를 보이면서 오염량이 계속 증가하는 반면, 창을 통하여 환기를 하면 오염원의 수가 낮은 값에서 일정값에 수렴하는 것을 알 수 있다.

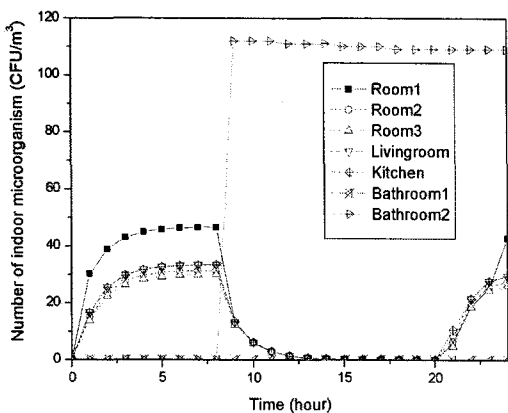


Fig. 7 Simulation result in case of varying occupants schedule

Fig.7에 미생물 오염 제거모델에서 기계환기장

치인 HRV와 욕실환기팬을 가동하고, Room1의 재실자가 전염성 질병에 걸려 100CFU/min의 미생물오염원을 발생시킬 경우, 이때 재실자는 20시~22시 거실, 22시~08시 Room1, 08시~09시 Bathroom2, 09시~20시 건물외부에 위치하는 것으로 재실 스케줄을 설정하였다. 20시부터 08시까지 Room1에 재실자가 있을 경우 각 실의 미생물 오염원 발생량은 기계환기장치의 가동으로 안정되며, Room1의 발생량이 제일 높게 나타나고 있다. 08시부터 09시에 환기팬이 1시간 가동하는 욕실을 사용하는 재실자에 의해서 욕실의 미생물 오염이 급격히 증가하다가, 09시에 재실자가 욕실에서 건물외부로 나가게 되면 미생물 오염원 발생원이 없어지지만, 1시간동안 가동한 욕실 환기팬의 가동정지로 인해 미생물오염량이 시간의 경과에 따라 미세하게 서서히 줄어드는 것으로 나타나고 있다. 09시 이후 재실자가 건물외부로 나가게 되면 Bathroom을 제외한 모든 실의 미생물오염원이 크게 감소하게 되며, 다시 재실하게 되는 20시 이후 다시 증가한다는 것을 알 수 있다.

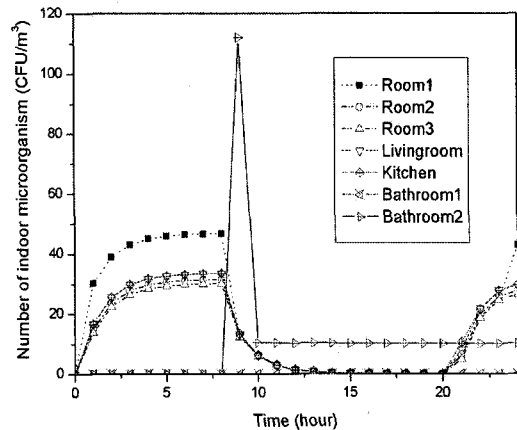


Fig. 8 Simulation result in case of varying occupants schedule

Fig.8의 경우는 08시부터10시까지 욕실환기팬이 2시간동안 가동하는 경우로 Fig.7과 비교시 욕실의 미생물오염원 변화가 09시까지의 Fig.7의 상태와 유사하지만, 09시이후 1시간동안 욕실환기팬이 더 가동하기 때문에 발생된 미생물 오염원이 급격히 줄어든다는 것을 알 수 있다.

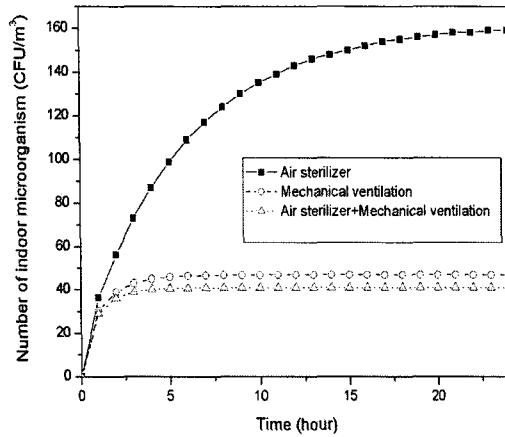


Fig. 9 Simulation result in case of ventilation and UVGI air sterilizer

Fig9에 미생물 오염 제거모델에서 Room1의 재실자가 전염성 질병에 걸려 100CFU/min의 미생물오염원을 발생시킬 경우 필터와 UVGI가 조합된 살균장치가 설치된 경우와, 기계환기장치인 HRV를 설치된 경우, 그 둘을 동시에 동작할 경우의 세가지 경우의 결과를 나타내고 있다. 해석 결과에서 알 수 있듯이 기계환기장치를 사용한 경우가 UVGI air sterilizer를 사용할 경우에 비해서 오염제거 성능이 상대적으로 우수함을 알 수 있다. 특히 기계환기장치와 UVGI air sterilizer를 동시에 사용할 경우 더 향상된 미생물오염제거 성능을 가지는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

미생물 오염원 제거를 위한 기계환기 및 필터와 UVGI 조합한 살균장치를 적용한 경우 멀티존 모델을 이용하여 실내 미생물오염원 제거성능에 관한 해석을 수행한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자연환기는 미생물 오염원제거에 높은 효과를 보이는 것을 알 수 있었다.
2. 실내 미생물 오염원은 문의 개,폐에 따라 실내로 확산되며, 창을 통한 자연환기나 강제환기를 하는 경우 오염량의 감소가 현저함을 알 수 있다.
3. 재실자의 재실스케줄 설정에 따른 각 실의

미생물 오염원의 확산과 제거성능에 대한 결과를 볼때 설정된 멀티존 모델의 실제적인 신뢰성이 높다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 필터와 UVGI를 조합한 살균장치와 기계환기장치는 각각을 설치하는 것보다 조합하여 사용하는 것이 실내 미생물오염원 제거성능이 높다는 것을 알 수 있었다.

이와같은 멀티존 시뮬레이션 기법은 실제 실험이 어려운 미생물오염원 문제에 대처하는 환기 설비설계에 활용될 수 있으며 궁극적으로 면역건물(Immune Building)기술의 실제적용에 대한 설계 자료로써 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단 된다.

#### 참고문헌

- (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) ASHRAE Handbook 1997. American Society Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,Inc., Atlanta, GA. Chapter25.
- (3) "Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size", ASHRAE Standard 52.2-1999
- (4) CONTAM 2.4 User Guide and Program Documentation. , NISTIR 7251