건물 재실자의 미생물 안전을 위한 면역건물 기술의 에너지 사용 연구

최 상 곤*
*유한대학 건축설비과 교수

A study on the disinfection performance of indoor microorganism using energy consumption analysis for indoor bio-safety

Sang-Gon, Choi*
*Dept. of Building services, Yuhan University

Abstract

In this study the real situation of apartment house in seoul is reproduced with multi-zone modeling program CONTAM2.4. This model include disinfection system which is consist of dilution, filtration, UVGI(ultra violet germicidal irrdiation). It's energy consumption was also analyzed through the linked model of CONTAM and TRNSYS according to the combination of components. The comparison of total energy consumption through energy analysis revealed that adjusting the air change rate of the UVGI air sterilizer to maintain the same indoor microbe removal capability was more advantageous in terms of energy consumption.

Keywords : Multizone modeling, UVGI, air sterilizer performance, air borne contagion, HRV, Ventilation system

1. 서 론

최근 국제적으로 신종인플루엔자의 확산이 커다란 사회적 문제가 되고 있다. 국내에서도 신종인플루엔자 확진환자와 사망자가 증가하고 있으며, 조류독감의 경우는 고착화가 진행되고 있다는 뉴스가 보도되는 등 공기를 통하여 확산되고 이것이 접촉에 의한 2차 감염으로 이어지는 점염성이 큰 질병들이 계속 발생하고 있다. 이러한 상황으로 볼 때 국내에서도 향후 환경 변화에 따른 실내 미생물 안전을 위하여 실내 부유성 병원균에 대한 관리 및 2차 감염을 억제하는 보다 실용적인 방법이 모색되어져야 할 것이다.

미국 등 선진국에서는 감염성 미생물에 의한 실내 재실자의 안전을 위하여, 공기를 통한 2차 감염의 방지 대책으로 면역건물(Immune Building)에 대한 연구가 진행되고 있다. 면역건물 기술이란 환기, 필터, 살균기술의 조합으로 건물에 대한 면역성을 부여하는 것으로 국내에서도 이러한 면역건물 시스템의 도입을 위한 기초 연구가 Choi & Hong (2006, 2005)등에 의해 진행되고 있다. 그러나 국내의 연구는 아직 미생물제거에 관한 성능적인 면이나, 면역건물 기술 도입을 위한 적용성을 판단하는 것에 집중되어 있어 면연건물 시스템을 구성하는 각각의 구성기술의 에너지 사용 또는 경제적인 도입을 위한 연구는 미비한 상태이다. 본 연구에서는 실내 재실자의 안전을 위한 2차감염 방지장치로서의 UVGI(Ultra Violet Germicidal Irradiation) 살균장치에 필터를 설치한 살균장치모델 및 기계환기모델(HRV model)을 적용한 멀티존모델을 구성하여 면연건물기술의 각 요소들을 경제적 측면에서 적정하게 실내 재실자의 안전을 도모할 수 있는 방안을 마련 하고자 하였다.

이 연구에서는 실제 현제 거주인원이 주거하고 있는 공동주택을 대상으로 미생물 제거모델을 구성하기 위하여 CONTAM 2.4를 이용하여 멀티존 모델을 구성하고, 멀티존 모델의 동작에 따른 에너지 사용량의 분석

† 교신저자: 최상곤, 경기도 부천시 소사구 괴안동 185-34 유한대학 건축설비과
M・P: 010-2981-4949, E-mail: tool007@yuhan.ac.kr
2009년 10월 14일접수; 2009년 12월 9일 수정본 접수; 2009년 12월 9일 게재확정

을 위하여 TRNSYS 15를 이용하여 에너지 분석 모델을 구성하도록 하였다. 이렇게 구성된 두 모델을 연동하여 에너지 분석과 미생물 제거량을 분석을 하도록 하였다. TRNSYS를 통한 에너지 사용량 분석을 위하여 실내를 일정 온도로 유지하고 CONTAM에 의한 면역건물기술의 적용에 따른 에너지 사용량 변화를 살펴보는 것으로 재실자의 안전을 충분히 유지할 수 있으면서 최소의 에너지를 사용하는 최적의 설계 및 운전 방안을 마련 하도록 하였다.

2. 모델 구성 및 해석

2.1 멀티존 모델

해석 모델을 설정하기 위하여 D사에서 시공한 공동주택 멀티존 모델을 그림 1.에 나타내었다. 미생물 오염원의 경우 벽에서 발생할 수 있는 크랙이나 벽과 벽의 접합부를 통한 공기이동통로(Airflow path)에 의한 오염확산은 무시할 수 있을 정도의 매우 미약할 것이므로, 공동주택의 멀티존 모델에서는 모델구성의 용이성을 위하여 벽을 통한 미생물 오염원의 확산은 없는 것으로 가정하였다. 이에 비해 상대적으로 크랙의 크기와 구성이 미생물오염의 확산에 영향을 미칠 수 있는 문이나 창문 등을 모델에 포함하여 문틈이나 창틈을 통한 미생물 오염원의 이동을 예측할 수 있도록 하였다.

멀티존 모델에서은 우선 재실자의 매생물 안전(Bio-safety)을 위한 면역건물기술의 오염제거성능을 평가하도록 구성하였다. 해석대상 공동주택의 각 실의 실온, 바닥면적, 실체적을 표 1.에 나타내었다. 표 2.에 해석대상 공동주택의 공기이동통로를 각각 나타내었다. 사용된 공기이동통로는 ASHRAE에서 제공하는 각각의 기밀도를 적용하도록 하였다. 또한 해석에 사용된 기계 환기장치의 존별 환기량과 덕트치수를 표3 .에 나타내었다. 표 2.의 Leakage area는 ASHRAE에 의해 10Pa에서 75Pa 까지 압력을 변화시키는 동안 실험적인 방법으로 각각의 개구부에 대한 압력변동에 대한 침기량을 측정하여 이에 따른 Leakage area로 구해진 값이다. 유효 Leakage area는 다음 식(1)에 의해 계산되어진다.

$$L = Q_r \frac{\sqrt{\rho/2\Delta P_r}}{C_d} \qquad (1)$$

여기서, Q_r : 압력차ΔP_r에서 예상 풍량, [㎥/s]

ΔP_r: 압력차, [Pa]

C_d : 방출율, [0~1]

ρ : 개구부를 지나는 공기의 밀도, [kg/㎥]

C_d와 ΔPr은 일반적으로 C_d=1.0과ΔPr= 4Pa로 쓰거나 C_d=0.6과 ΔPr=10Pa로 사용되며, 본 연구에서는 C_d=1.0과ΔPr= 4Pa의 값을 설정하였다. 이렇게 설정된 유효 Leakage area는 다음 식(2)에 의하여 유량계수로 변환이 가능하다.

:

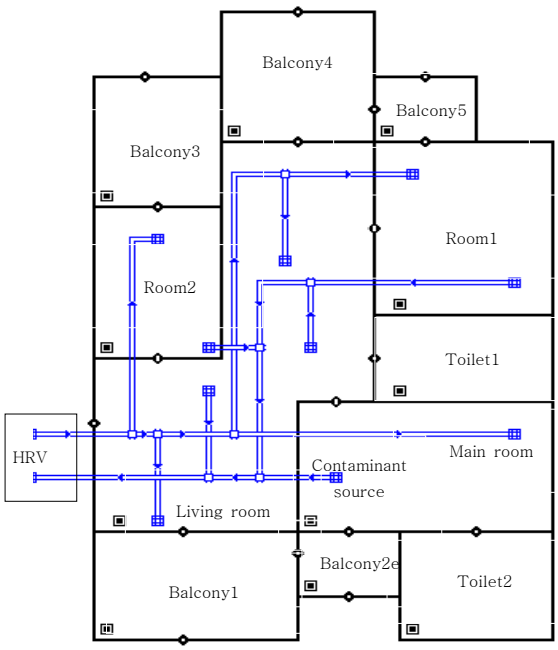

그림1. 멀티존 모델

표 1. 공동주택의 기본 정보

Zone	Temper-ature(℃)	Area (㎡)	Volume (㎥)
Main room	25.7	12.21	30.525
Room1	24.9	6.21	15.525
Room2	24.9	5.94	14.85
Living room	23.9	23.28	58.2
Toilet1	22	3.22	8.05
Toilet2	21	1.92	4.8
Balcony1	21	5.7	14.25
Balcony2	22	3.5	8.75
Balcony3	21	3.3	8.25
Balcony4	22	5.2	13
Balcony5	21	2.4	6
Shaft1	20	1.6	4
Shaft2	20	1.2	3

표 2. 멀티존 모델의 Airflow path

Air flow pass	Location	Leakage area (㎠/m)	Area (㎡)
Door	General	0.31	1.8
	Balcony4~5	5.5	2.5
	Balcony1~2		3.5
	Livingroom~ Balcony4		4.5
	Livingroom~ Balcony1		8
	Front door	0.26	2.2
Win-dow	Room1~ Balcony5	1.1	1.7
	Room2~ Balcony3		1.8
	Main room~ Balcony2		3.4
	Ambt~ Balcony3,5	0.67	1.8
	Ambt~ Balcony4		2.2
	Ambt~ Balcony2	0.72	3.4
	Ambt~ Balcony1		7.4

$$C_b = LC_d\sqrt{2}\,(\Delta P_r)^{1/2-n} \qquad (2)$$

여기서, C_b : 유량 계수, [0~1]

L : 유효 누설 면적, [㎡]

n은 실험적으로 구하게 되며, 실험적인 값이 없는 경우 일반적으로 0.6에서 0.7사이의 값을 적용하는 것이 적당하며 본 연구에서는 0.65를 사용하였다. 또 주요 공기유동로인 창과 문이 개방되어 있는 경우는 Two-way flow model 중 One opening model을 사용하여 다음 식(3)에의해 유동유량을 계산하도록 하였다.

$$F_y = C_d\sqrt{2\rho\Delta P}\,W\cdot\Delta y \qquad (3)$$

여기서, F_y : 폭 W, 높이Δy인 개구부의 유량, [kg]

W : 개구부의 폭, [m]

Δy : 개구부의 단위 높이, [m]

W의 값은 실측한 값을 적용하였으며, Δy의 값은 실측에 의한 값을 등분하여 사용하도록 하였다. C_d의 값의 경우는 일반적으로 0.7에서 0.8사이의 값을 적용하는 것이 적당하며 본 연구에서는 0.78을 사용하였다.

UVGI 살균장치와 필터는 실제 선정된 공동주택에는 설치되어 있지 않지만 시뮬레이션을 위하여 거실에는 UVGI 살균장치와 필터를 조합한 살균장치를 설치하는 것으로 모델링하였으며, 식(4)에 멀티존모델의 지배방정식을 나타내었다.

$$\frac{dm_i^\alpha}{dt} = \sum_j F_{j\to i}(1-\eta_j^\alpha)C_j^\alpha + G_i^\alpha + m_i\sum_\beta K^{\alpha,\beta}C_i^\beta - \sum_j F_{i\to j}C_i^\alpha - R_i^\alpha C_i^\alpha \qquad (4)$$

여기서, m_i : 존 i에서 공기의 질량, [kg]

m_i^α : 존 i에서 오염원α의 질량, [kg]

C_i^α : 존 i에서 오염원 α의 질량비율 , [0~1]

C_j^α : 존 j에서 오염원 α의 질량비율 , [0~1]

$F_{i\to j}$: 존 i에서 j로 흐르는 공기유량 , [kg]

G_i^α : 제어체적내의 오염물질 발생량, [kg]

$K^{\alpha,\beta}$: 존 i에서 오염원 α와 β의 운동반응계수 , [0~1]

R_i^α : 존 i에서 오염원 α의 제거율 , [0~1]

η_j^α : 오염원 α에 대한 필터 효율 , [0~1]

표 3. 환기시스템의 구성

Zone	Air flow rate(㎥/h)		Duct diameter(㎜)	
	inlet	outlet	inlet	outlet
Main room	21.37	21.37	100	100
Room1	10.87	10.87	100	100
Room2	10.4	10.4	100	100
Living room	20.37	20.37	100	100

2.2 에너지 해석 모델

재실자의 미생물 안전을 유지하면서 최소의 에너지를 사용하는 방법을 모색하기위하여 에너지 해석모델을 구성하였으며 , 에너지 해석 모델을 구성하기 위하여 CONTAM 2.4에서 계산된 멀티존의 공기이동에 관한 정보를 TRNSYS 16에 넘겨주어 이에 따른 에너지 해석이 가능하도록 하였다. 재실자의 미생물 안전을 위한 미생물 제거 모델인 멀티존 모델은 실내 미생물오염원 저감 해석을 위해 CONTAM 2.4에서 개발되어 TRNSYS 16의 멀티존 부하 모델인 Type 56에 의해 모델링 될 수 있으며 Program의 데이터 흐름을 그림 2.에 나타내었다. 연구에서는 에너지 평가 모델을 구성하기위하여 앞서 CONTAM 2.4에서 사용한 공동주택 모델에 따른 에너지 평가를 위하여 TRNSYS 16의 부하 모델인 Type 56을 구성하고 그림 3.과 같이 에너지 평가 모델을 구성 하였다. 그림 3.에서 보인 것과 같이 실내 미생물 오염원 저감해석을 위해 CONTAM 2.4에

서 개발된 모델은 TRNSYS 16의 멀티존 부하 모듈(Type 56, Building)에 의해 링크될 수 있다. 멀티존 부하 모듈은 멀티존에 대한 각 구성 요소를 TRNSYS 16의 보조 도구인 TRNBuild에 의해 먼저 각구성에 대한 입력값을 입력하여 구성하여야 한다.

TRNBuild에서 멀티존 구성을 위해 사용한 입력값을 표 4.에 각 존의 체적과 존별 열용량 및 구성 벽체의 대류 열전달계수로 나타내었다. 또한 표 4.에 나타낸 것과 같이 TRNBuild에서 멀티존을 구성할 때 존의 구성요소로서 난방에 대한 설정을 할 수 있다. 이러한 난방설정은 셋팅 온도를 입력하면 자동으로 셋팅 온도로 실내를 유지할 수 있도록 공급열량 제한이 없는 내부 히터에 의해 난방열량을 공급하도록 되어있어 실내를 20℃로 유지하도록 하였다. 이렇게 TRNBuild에서 구성된 멀티존은 멀티존 부하 모듈(Type 56, Building)에서 외부 파일 형식으로 호출하게 된다. 멀티존 부하 모듈에서 구성된 멀티존을 호출하게 되면 부하모듈의 입력조건에 각각의 존과 존간에 흐르는 유동유량을 입력받을 수 있는 탭이 자동생성 되게 된다. 이렇게 생성된 입력조건의 연결을 위하여 CONTAM의 데이터와 연동하면 된다. CONTAM의 데이터를 연동하기 위하여 우선 CONTAM에서 TRNSYS로 데이터를 넘겨줄 수 있는 연결점으로 .air의 확장자를 가지는 외부파일을 만든다. 이렇게 만든 외부파일을 CONTAM 호출모듈(CONTAM air flow model, Type97)에서 호출하게 된다. 이렇게 CONTAM 호출모듈에서 그림 2.에 보인 CONTAM과 TRNSYS의 양방향 데이터 흐름을 만들게 된다.

에너지해석은 실제 외기에 대한 부하변동에 따라 에너지를 계산할 수 있도록 외기데이터 호출 모듈(Boulder, type89)에서 실제 서울 1월 한달간의 외기데이터를 호출할 수 있도록 하였다. 이는 일반적인 공동주택의 경우 냉방장치가 기본적으로 설치되어 있지 않으며, 여름에 비해 상대적으로 겨울기간 동안 HRV에 의한 외기도입에 의존할 것을 고려하기 위해서이다. 또한 에너지 평가에 있어 실제 부하를 적용하기 위하여 서울의 1월 한달의 실제 외기온도를 사용하도록 하였다. 또 정확한 부하의 산정을 위하여 일사량 모듈(Solar radiation, type16)을 통하여 우리나라 위도에서 동계 태양의 고도에 따른 일사량의 값을 계산하도록 하였다. 이 일사량 모듈에 태양의 고도를 계산할 수 있도록 서울의 위도인 북위 37도 48분을 적용할 수 있도록 하고, 건물의 방위를 나타 내기위하여 동, 서, 남, 북에 대한 방위를 설정하였다. 실제로 외벽에서는 일사량에 따라 온도가 변화할 수 있으므로 외기온도 모듈(Sky temperature, type69)를 적용하였다. 이를 위하여 건물의 위치는 평균해수면으로부터의 높이를 30m로 적용하도록 하였다.

다음으로 HRV의 동작에 따른 에너지 변화를 고려하기 위하여 열교환기 모듈(type91)을 적용하였다. 열교환기 모듈은 열교환 효율을 70%로 가정하였다. 이는 실제 판매되는 기계환기장치인 HRV 카탈로그의 데이터를 바탕으로 평균적인 경우를 적용하기 위함이다. 이러한 열교환기 모듈은 열교환만을 모사하고 실제 HRV에 대한 팬에 대하여서는 모사는 팬 모듈(type3)을 설치하였다. 열교환기용 팬모듈을 통하여 열교환기를 통과하는 환기회수에 따른 유량을 설정하도록 하였다. 또한 팬 모듈을 통하여 UVGI 공기살균장치에 부착된 팬을 모사하여 UVGI 공기살균장치의 환기회수에 따른 팬을 통한 환기 에너지를 계산할 수 있도록 하였다. 적용된 UVGI 공기살균장치의 환기풍량과 팬의 동력, HRV의 환기풍량과 팬동력을 표 5.에 나타내었다. 동일한 소비전력을 가지는 팬을 HRV의 경우 급기와 배기용의 팬이 각각 한 개씩 장착되도록 하였으며, UVGI공기살균장치의 경우는 하나의 팬을 통하여 순환시키도록 하였다. 에너지 평가를 위하여 HRV의 환기량을 0.7회/h에서 3회/h까지 변화시키면서 환기횟수에 따른 팬동력과 환기량의 변화에 따른 난방에너지의 변화를 살펴볼수 있도록 하였으며, 각 HRV의 환기량에서 UVGI 공기살균장치의 환기풍량을 0.7회/h에서 3회/h 까지 변화시키도록 하여 각각의 HRV 환기량에서 UVGI 공기살균장치의 환기풍량을 변화시킬 때의 에너지 사용량을 계산하였다. 이러한 각각의 구성요소가 다른 조건에서 동작할 경우에 대한 성능 평가를 위한 시뮬레이션의 조건을 표 6.에 나타내었다. 에너지 소비량을 비교하기 위하여 UVGI 공기살균장치의 오염제거성능은 일정하게 유지되는 것으로 설정하였다.

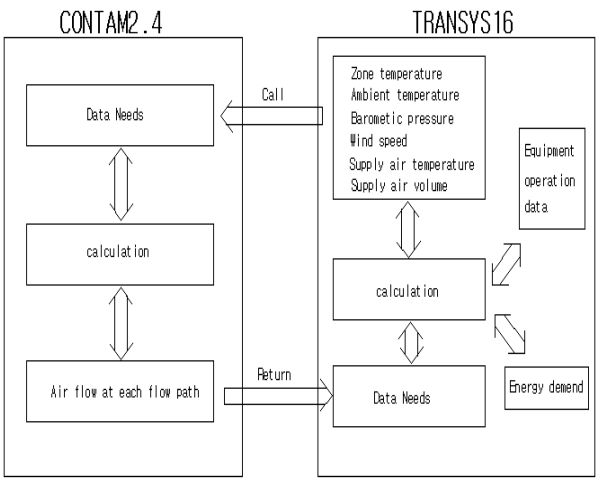

그림 2. 데이터 공유 흐름도

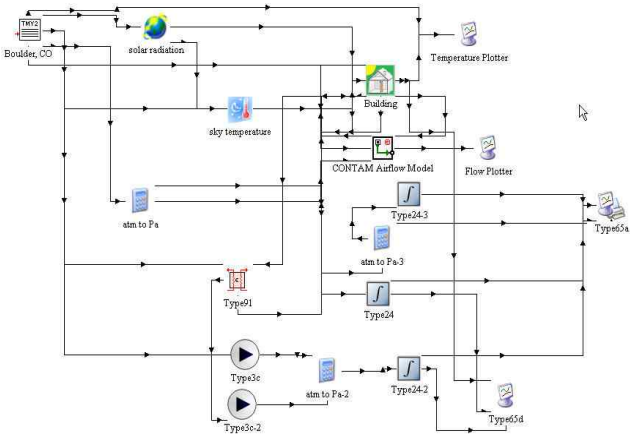

그림 3. 에너지평가를 위한 TRNSYS 16 모델

표 4. TRNBuild의 입력 데이터

Zone	Volume (㎥)	Heat capacitance (kJ/k)	Convective heat transfer coefficient	
			Wall (kJ/h㎡k)	Window (kJ/h㎡k)
Main room	30.53	36.63	11.376	64
Room1	15.53	18.63	11.376	64
Room2	14.85	17.82	11.376	64
Living room	63.9	76.68	11.376	64
Bath room1	8.05	9.66	11.376	64
Bath room2	4.8	5.76	11.376	64
Zone set temperature(℃)	20			
Heating equipment	Unlimited power heater			

표 5. 시뮬레이션에 사용한 HRV 모델의 사양

Air change rate (ACH)	HRV air flow rate (㎥/h)	HRV fan power (W)	Air sterilizer air flow rate (㎥/h)	Air sterilizer fan power (W)
0.7	83.38	70	83.38	35
1	119.1	90	119.1	45
2	238.2	170	238.2	85
3	357.3	215	357.3	107

표 6. 시뮬레이션 조건

Condition	Air change rate (ACH)															
HRV	0.7				1				2				3			
UVGI	0.7	1	2	3	0.7	1	2	3	0.7	1	2	3	0.7	1	2	3

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

표 7.에 초기 미생물 오염농도가 100CFU/㎥인 경우 기계환기량이 0.7 회/h, UVGI 공기살균장치의 환기량을 0.7 회/h 로 할 경우 MERV 필터등급과 UVGI등급을 변화시키면서 1시간 이후 미생물오염 제거율을 나타내었다. 표 7.에서 보는 것과 같이 MERV 16 등급과 UVGI 16 등급을 조합할 경우의 제거율이 95.3%, MERV 12등급과 UVGI 16 등급을 조합할 경우 95.3%, MERV 12등급과 UVGI 16 등급을 조합할 경우 95.3% 로 제거율이 같은 것을 알 수 있다. 이것은 같은 제거율을 얻을 수 있는 다양한 등급의 MERV와 UVGI의 조합을 사용할 수 있다는 것을 나타낸다. 즉 UVGI 공기살균장치의 설계 및 제작에 있어 설치장소의 구조적인 조건과 비용을 감안하여 여러 형태의 조합을 사용하여 실내 재실자의 미생물 안전을 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 이러한 여러 가지 조합 중에 프리필터의 성능을 가지는 MERV 6등급과 UV-C 램프의 과다사용에 의한 발열, 통과 소음을 고려하여 UVGI 12 등급을 선정하여 에너지 사용량을 비교하였다. 이러한 조합은 MERV 12 등급과 UVGI 12등급을 선정하였을 때보다 0.2% 정도의 제거율 하락을 가져오지만 초기 투자비 면에서 MERV 6 등급 정도의 프리필터의 가격보다 MERV 12 등급 정도의 medium 필터의 가격이 약 1.5배 정도 높아, MERV 6 등급 정도의 프리필터를 사용하는 것이 초기 투자비의 절약을가져올 수 있다. 또한 12등급의 UVGI 살균능력은 85%로 녹농균의 경우 UV-C 조사량이 약 1,091 ㎼/㎠ 필요한 반면, 16등급인 UVGI 살균능력 99.9% 이상 유지하기 위해서는 UV-C 조사량이 약 3,975 ㎼/㎠ 정도가 필요하게 된다.(2) 이러한 경우 조사량이 4배 정도 증가하여야 하므로 UVGI 공기살균장치의 형태에 따라 UV-C 램프를 다수 사용하여야 하여야 한다. 때문에 UVGI 12 등급을 적용함으로써 상대적으로 높은 UV-C 조사량의 유지를 위한 UV-C 램프의 다수 사용에 대한 부담도 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 표6.의 풍량변화에 대한 소비전력 조건을 이용하여 각 조건이 변화할 때 에너지 사용량을 비교함으로써 목표 제거율에 도달하기 위한 가장 경제적인 방법을 찾아낼 수 있다.

그림 4.에 TRNSYS에서 외기온도가 변화하는 동안 실내온도의 변화에 대한 결과를 나타내었다. 외기온도가 변화는 동안에도 실내 셋팅온도인 20℃로 유지되는 것을 알 수 있다. 이것은 모델에서 난방조건을 고려하여 구성된 멀티존 부하모듈의 내부히터에 의해 발생부하에 따라 적정한 난방이 이루어지고 있기 때문이다.

표7. 필터와 UVGI 등급 변화에 따른 제거율
(Air sterilizer air change rate=0.7, HRV air change rate=0.7, indoor microorganism initial concentrate = 100CFU/㎥)

MERV	UVGI	Remove rate (%)
6	6	94.7
	12	94.9
	16	95.3
12	6	94.8
	12	95.1
	16	95.3
16	6	94.9
	12	95.2
	16	95.3

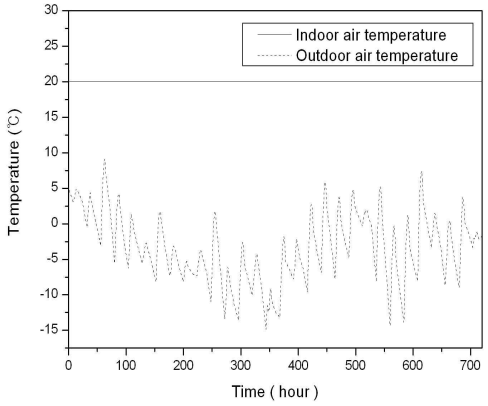

그림4. 시뮬레이션 기간 동안의 실내 및 실외의 온도

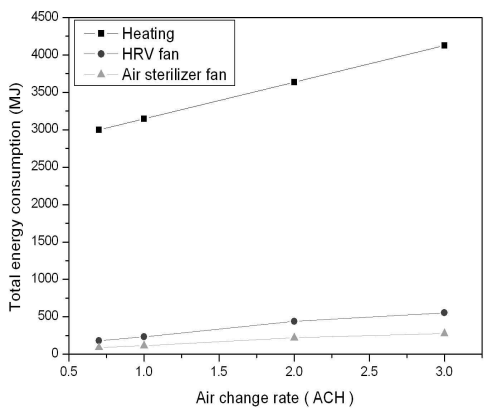

그림5. 공기순환량 변화에 따른 에너지 총 사용량

그림 5.에 환기량의 변화에 따른 1개월 동안의 에너지 사용량을 나타내었다. 각각의 총 사용에너지는 환기회수가 변화함에 따라 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 난방에너지의 경우 환기회수의 증가에 따라 외기도입량이 증가되어 나타나는 결과이며, 기계환기팬과 UVGI 공기살균장치 팬의 경우는 환기회수 증가에 따라 소요 동력의 증가로 인해 총에너지 사용량이 증가하는 것으로 나타났다. 난방에너지의 경우는 기계환기회수 1회/h인 경우 3,148 MJ에서 2회/h인 경우 3,636 MJ로 시간당 1회의 환기회수가 증가한 경우 약 490 MJ의 에너지를 더 소비하는 반면, UVGI 공기살균장치의 환기회수를 증가시키는 것은 실내공기의 재순환일 뿐만 아니라 장치의 발열로 인해 실내 난방에너지의 증가는 없다. 그러므로 UVGI 공기살균장치의 팬에 의한 전기에너지량 만큼만 소요에너지가 증가하게 된다는 것을 알 수 있으며, UVGI 공기살균장치 팬의 경우는 동일한 조건에서 약 103 MJ의 에너지가 소요되어 살균장치 최대풍량인 3회/h로 가동하더라도 약 309MJ로 기계환기를 1회 증가시키는 것보다 사용에너지가 적어 에너지 사용 측면에서 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 조절하여 운전하는 것이 동일한 미생물 제거효과에 대해서 더 유리한 것으로 나타났다.

표 8.에 기계환기의 환기회수를 대상건물의 전체 체적에 대하여 환기회수 0.7회/h로 하고 이때 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 대상건물의 전체 체적에 대하여 환기회수를 변화시켜, 기계환기만을 할 경우 동일한 미생물 제거율을 가질 수 있는 환기회수를 시뮬레이션에 의해 구한 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 MERV6+UVGI12+UVGI공기살규장치 환기회수가 1회/h인 경우 제거율이 95.4%인 경우 에너지 사용량은 약 3270MJ인 것에 비하여 기계환기로만 95.4%의 제거율을 얻기 위한 에너지 사용량은 약 3410MJ로 약 150MJ의 에너지가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 MERV6+UVGI12+ UVGI공기살규장치 환기회수가 1회/h인 경우 제거율이 95.4%에서 환기회수를 1회 증가시킨 경우인 MERV6 +UVGI12+공기살규장치 환기회수가 2회/h인의 경우 제거율이 96.4%로 약 1%정도의 제거율이 증가된다는 것을 알 수 있다. 이때 UVGI 공기살균장치와 필터를 사용하지 않고 기계환기만을 할 경우는 환기횟수가 약 0.7회/h 정도 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 약 1%정도의 제거율 증가를 위하여 기계환기의 환기회수가 약 0.7회/h 증가할 때 에너지가 약 304MJ이 소비되는 반면 살균기의 환기횟수가 약 1회/h가 증가할 때 약 103MJ이 소비되어 동일한 제거율증가를 위해 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 조절하는 것이 유리한 것으로 나타났다.

표 8. UVGI+살균기+환기 0.7회/h의 미생물 제거률과

동등한 제거율을 나타낼 수 있는 기계환기량

MERV	UVGI	Air sterilizer air change rate (ACH)	Remove rate (%)	Air change rate using only mechanical ventilation (ACH)
6	12	1	95.4	1.46
	16		95.6	1.58
	12	2	96.4	2.12
	16		96.8	2.31
	12	3	96.9	2.68
	16		97.3	2.93

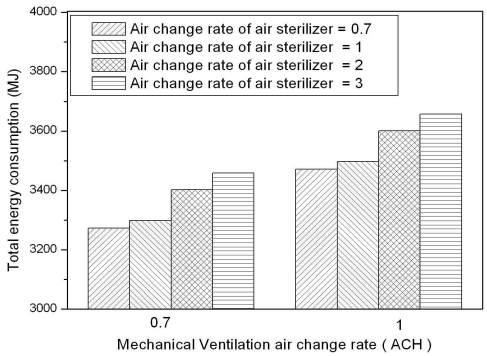

그림 6. 환기량 0.7ACH와 1ACH에서 살균기의 풍량변화에 따른 총에너지 사용량 비교

그림 6에 기계환기의 환기회수가 0.7회/h의 경우와 1회/h인 경우에서 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 0.7회/h에서 3회/h까지 변화시켰을 경우 한달간의 총 에너지 사용량을 비교하여 나타내었다. 기계환기의 환기회수가 0.7회/h의 경우에 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 3회/h로 하여도 총사용 에너지가 약 3480MJ로 기계환기의 환기회수가 1회/h의 경우에 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 0.7회/h로 하는 에너지 약 3490MJ 보다 작은 것으로 나타났다. 따라서 기계환기의 환기회수를 증가시키는 것보다 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 증가시키는 것이 동일한 미생물 살균효과에 대해서 에너지 사용에 있어 유리한 것으로 나타났다.

4. 결 론

실내 재실자의 미생물 안전을 충분히 유지하면서 최소의 에너지를 소비하는 설계 및 운전 방안을 모색하기위하여 각각의 면역건물기술의 조합에 따른 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실내 재실자의 미생물 안전을 위하여 기계환기 0.7회/h, MERV 6등급, UVGI 6등급 이상의 면역건물기술을 적용하면 약 94% 이상의 미생물 오염제거가 가능하며 면역건물기술의 다양한 조합으로 목표성능을 달성할 수 있다.

2. 에너지 소모량을 비교한 결과 기계환기와 UVGI 공기살균장치의 조합사용이 기계환기만을 가동하는 것이 약 105MJ의 에너지를 덜 사용하여 에너지 총사용량에서 조합사용이 좀 더 유리한 것으로 나타났다.

3. 기계환기와 UVGI 공기살균장치의 조합사용시 기계환기의 환기회수를 증가시키면 환기회수 증가에 따라 약490MJ의 난방에너지가 증가하는 것에 비하여 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 1회/h 증가시키면 약 103MJ의에너지 증가만이 있기 때문에 동일한 제거율을 얻기 위하여 살균장치의 환기회수를 조절하는 것이 에너지 사용에 유리한 것으로 나타났다.

4. 1%의 동일한 제거율 증가를 위하여 기계환기를 증가시킬 경우 약 304MJ, UVGI 공기살균장치의 환기회수를 증가시키는 경우 103MJ의 증가로 미생물 제거율을 조절하기위하여 UVGI 공기살균장치의 환기회수를 조절하는 것이 에너지 사용에 있어 유리한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 실내 재실자의 미생물 안전을 유지하기 위한 면역건물기술의 설계에 있어 자연환기를 이용하는 것이 가장 효율적이나, 실제 겨울의 경우 자연환기를 장시간 할 수 없는 환경에서 실내 재실자의 미생물 안전을 위한 면역건물기술에 대한 3가지 구성요소에 관한 설계는 각각을 적절히 조합하여 에너지 절약적으로 목표성능을 달성할 수 있는 것으로 나타났다.

따라서 결론들을 이용하여 재실자의 안전과 에너지 절약이라는 두 가지 목표를 함께 달성할 수 있는 면역건물기술 설계 및 운전 방안을 사용 장소와 목적에 맞추어 최적화할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참 고 문 헌

[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, K. S. Park, Y. S. Yoon, J. K. Hong, 2006, The study on the performance of air sterilization of

multistoried apartment by the multizone modeling. Summer conference of SAREK . pp. 319 - 324

[3] S. G. Choi, H. w. Lee, J. K. Hong, 2006, The study on the multizone modeling for preventing transmission of air borne contagion, v.18n.11, Journal of SAREK. pp. 933 - 940

[4] ASHRAE, ASHRAE Handbook 1997. American Society Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,Inc., Atlanta, GA Chapter25.

[5] SEL, Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin-Madison, TRNSYS 16 Documentation

[6] NIST, CONTAM 2.4 User Guide and Program Documentation. , NISTIR 725

[7] D. Vanosdell, K. Foarde, 2002. 11, Defining the effectiveness of UV lamps installed in circulating air ductwork, Finial report ARTI-21CR/610-40030-01.

[8] Richard, S., Estelle, L. and Christine, R., 1998, The Effects of UV-C on Biological Contamination of AHUs in a Commercial Office Building, IAQ and Energy 98. pp. 229-236.

[9] W. J. Kowalski, W. P. Bahnfleth, D. L. Whittam, B. F. Severin and T. S. Whittam, Mathematical modelling of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection, Quantitave Microbiology 2, 249-270, 2000.

[10] Sheng Zhu, S. Kato, and J. Yang., 2006, Investigation into Airborne Transport Characteristics of Airflow Due to Coughing in a Stagnant Indoor Environment, ASHRAE Transaction, vol. 112, pt.1

[11] S. G. Choi, J. K. Hong, 2007, The study on the Multi-zone simulation according to building vantilation system for preventing transmission of microorganism by air borne contagion, v.23.n.6, Journal of Architectural institute of korea, pp 247-254.

저 자 소 개

최 상 곤

경원대학교 건축설비과에서 학사, 석사, 박사학위를 취득하였고, (주)바스코리아 연구소 선임연구원 및 유한대학 강의전담교수를 거쳐 현 유한대학 전임강사로 재직 중이다.

주소: 경기도 부천시 소사구 괴안동 185-34 유한대학 건축설비과