Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 27, No. 6 (2015), pp.293-299
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2015.27.6.293

CFD를 이용한 열회수형 환기장치 운전에 따른 혹한기 공동주택의 실내 열환경 검토

A Study of the Indoor Thermal Environment in Apartment Buildings in Freezing Weather Operation of Heat Recovery Ventilator by CFD Simulation

김창연(Chang-Yeon Kim)[1], **박종일**(Jong-Il Park)[2], **김동규**(Dong-Gyu Kim)[3], **신병환**(Byong-Hwan Shin)[4], **금종수**(Jong-Soo Kum)[4†]
[1]GS건설, [2]동의대학교 건축설비공학과, [3]부경대학교 과학기술융합전문대학원, [4]부경대학교 냉동공조공학과
[1]GS Engineering and Construction, Seoul, 110-130, Korea
[2]Depattment of Building System, Dongeui University, Busan, 614-714, Korea
[3]Specialized Graduate School Science and Technology Convergence, Pukyong National University, Busan, 608-739, Korea
[4]Department of Refrigeration and Air conditioning Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-739, Korea

(Received March 10, 2015; revision received April 13, 2015; Accepted: April 16, 2015)

Abstract In Korea, it is the law that an apartment building which consists of over 100 households must have a ventilation system installed, either natural or mechanical. The heat recovery ventilator (HRV) is great way to reduce energy consumption. In this research we confirmed that based on site's construction plan and existing diffuser form, performed purpose CFD which simulates operation in temperatures below -5℃ to circumstances of installation of an HRV in an apartment. As a result of this research we found that when the diffuser's aperture area was adjusted, the distribution of air temperature and residence time of air was more equally distributed and air temperature was higher, compared to when the diffuser has an identical aperture area. We also found that we are able to increase even more air temperature and air distribution of air temperature and residence time of air was even more equally distributed when run in parallel with a splitter damper.

Key words HRV(Heat recovery ventilator : 열회수형 환기장치), Indoors thermal environment(실내 열환경), Freezing weather season(혹한기), Residence time of air(공기연령), Splitter Damper(분기댐퍼)

† Corresponding author, E-mail: *jskum@pknu.ac.kr*

1. 서 론

국토교통부령으로 공포된 "건축물의 설비기준 등에 관한 규칙"에서는 100세대 이상의 공동주택을 대상으로 적절한 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하도록 규정하고 있다. 이에 따라 공동주택에 설치되는 환기설비는 덕트를 활용하여 급배기하는 기계환기설비인 열회수형 환기장치가 대부분이다.

열회수형 환기장치에 대해서는 KS 및 KARSE에 제작하고 시험평가를 위한 방법이 제정되어 있고, 설치 시공을 위한 덕트 및 디퓨져 등 설치 부자재도 다양하게 개발되어 있는 상태이다.[1-2] 그러나 공동주택의 특성을 고려하여 각 실에 적절한 급배기량을 분배하기 위한 방법은 설치 시공 후 TAB에 의해서 공기분배를 조정하는 방법 외에는 다른 방법이 정의 되어 있지 않은 실정이다. 환기장치 급배기를 위한 덕트 및 디퓨져 시공에 있어, 환기장치에 근접해서 시공하는 경우에는 디퓨져의 조정만으로는 적절한 급배기를 구성할 수 없는 경우도 있다. 따라서 급배기가 한 개의 실에 집중될 경우에는 나머지 실에는 신선공기를 충분하게 공급하는 것이 어려울 수도 있다. 특히, 겨울철 혹한기 운전에 있어서는 낮은 외기온에 의해 급기온도도 낮아지므로 적절한 급기분배가 이루어지지 않을 경우 각 실별 열환경의 차이도 크게 발생하므로, 이에 대한 대처방안이 필요하다. 환기장치 운전 시 각 실에 적절한 공기분배를 위해 덕트 내부에 분기댐퍼를 적용함으로써 효율적인 분기를 하는 것이 디퓨져만을 이용해서 급기량을 분배하는 것보다 효율적이다.[3] 하지만, 분기댐퍼를 분기 위치마다 적용하게 될 경우 자재비 및 시

공비가 많이 증가하여 현장에서 적용하기에는 어려운 실정이다.

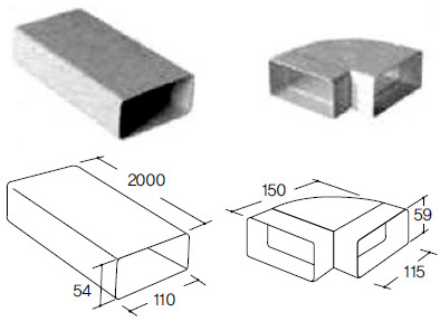
본 연구는 기존연구[3-4]을 기반으로 하여 서울지역에 위치한 공동주택의 설계평면을 기준으로, 외기온이 -5℃ 이하가 되는 혹한기의 기후조건에서 열회수형 환기장치가 운전될 때 각 실에 적절한 공기분배가 이루어지도록 시공하는 방법과 동일한 순서로 CFD를 수행하여 디퓨져만으로 급기를 분배하는 방식의 문제점을 확인하고, 분기 댐퍼를 적용할 경우 개선되는 효과를 검토하였다.

2. 계산방법

2.1 설치 부자재

CFD를 이용한 해석을 위한 계산모델에는 현장에서 사용되는 Fig. 1의 설치 부자재를 모델링하여 적용하였다. (a)는 시뮬레이션에 적용된 설치 부자재 중 디퓨져의 형상을 나타낸 것이다. 각 실의 디퓨져는 현장에서 디퓨져 하부의 원형판(팬)을 회전시켜 급기면적을 조정할 수 있는 원형 팬디퓨져를 적용하고, 공기가 이

(a) Round pan diffuser



(b) Duct element

(c) Splitter damper

Fig. 1 Subsidiary materials for calculation model.

동하는 팬과 케이스 사이의 간격(Open gap)을 설정하여 공기의 확산상태도 함께 반영되도록 하였다. (b)와 (c)는 덕트와 분기댐퍼의 형상을 나타낸 것이다. 덕트는 현장에서 설치되는 사각 덕트의 형상을 반영하였고. 분기댐퍼는 원형 팬 디퓨져가 과도하게 닫히게 되는 경로의 덕트분기에 적용하였다.

2.2 대상 공간

Fig. 2와 Fig. 3은 계산의 대상이 되는 공동주택 59 ㎡과 84 ㎡형의 평면도를 나타낸 것이다. 계산대상 공동주택은 서울지역에 위치하고 있으며, 침실 3개와 거실이 있는 구조로써 환기장치를 적용할 때 급배기 디퓨져가 각각 5개씩 설치되는 형태이다. 열회수형 환기장치는 실외기실에 위치하고 있으며, 급기와 배기가 모두 열회수형 환기장치의 송풍기에 의해서 이루어지고 있다.

2.3 해석모델

CFD 해석은 전산해석 상용프로그램인 Star-CCM+ 9.11을 사용하였다. Fig. 4는 84 ㎡형의 계산모델의 구성을 나타낸 것이다. 59 ㎡형도 동일한 형태로 구성되어 있다.

계산모델은 침실 3개와 거실에 각각 급배기 디퓨져가 설치되어 있고, 열회수형 환기장치에서 외기를 도입한다. 급기디퓨져에 연결되는 덕트와 실내에서 배기하는 덕트가 열회수형 환기장치에 연결되어 있어 덕트의 길이에 대한 압력손실과 분기 및 곡각부의 국부손실을 포함해서 계산이 가능하다.

Fig. 5는 디퓨져 급기유로의 크기를 나타내는 Open gap과 격자의 구성 및 공기가 확산되고 있는 상태를 나타낸 것이다. Open gap은 15 mm가 최대값이며 유로가 좁아질 경우에 발생되는 소음을 고려하여 40% 이상의 면적을 확보할 수 있는 6 mm를 Open gap의 최소값으로 하였다.

Table 1은 계산에 적용된 각각의 변수를 나타냈다. 계산격자는 디퓨져 및 덕트의 곡면형상을 충분히 반영하기 위하여 Polyhedral mesh를 사용하였다.

디퓨저의 Open gap 위치의 좁은 급기유로 및 형상을 반영하기 위하여 격자의 최소크기는 1 mm로 하였고, Prism Layer를 3개 층으로 설정하였다. 격자의 최대크기는 100 mm로 하고, 순차적으로 격자가 커지도록 하여 계산의 수렴 속도를 빠르게 하였다.

계산 대상 기체는 이상기체 방정식을 만족하는 Ideal gas로 적용하였고, 공기의 온도차에 의해서 발생되는 부력을 반영하기 위해서 -Z축 방향으로 중력을 적용하였다. 실내 난방 열량은 급배기 열량손실을 고려하여

ⓒ SAREK

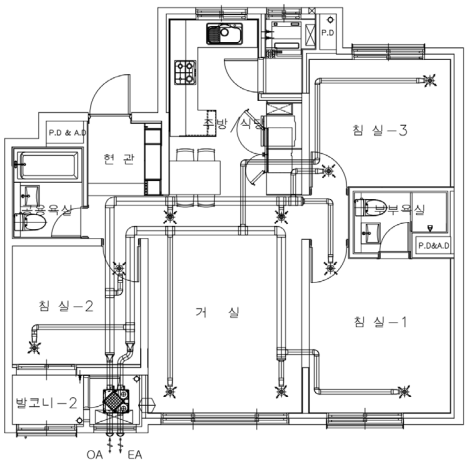


Fig. 2 59 ㎡ type apartment house.

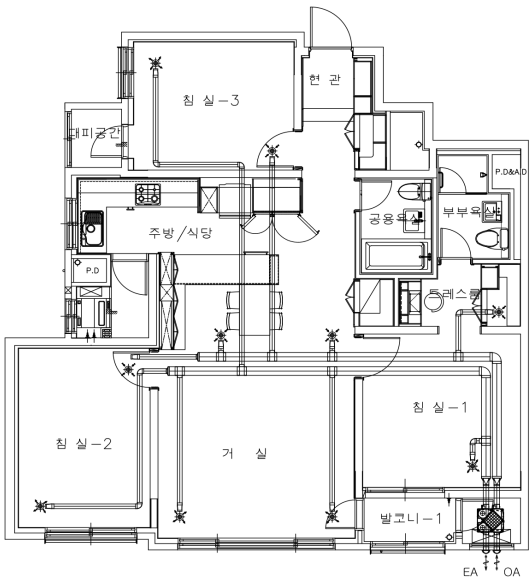


Fig. 3 84 ㎡ type apartment house.

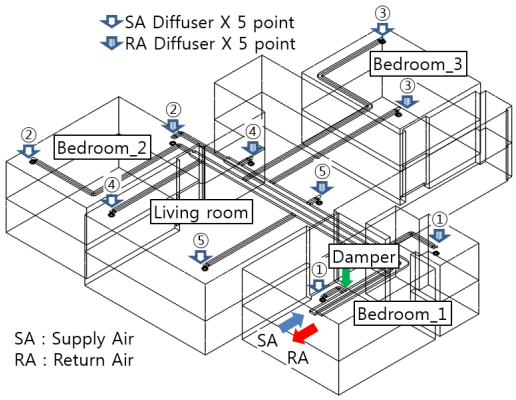


Fig. 4 Calculation model.

45 W/㎡의 발열로 바닥면에서 균일하게 발생하는 것으로 하였다.

외기온은 -5℃로 설정하였고, 급기온도는 열회수형 환기장치의 온도교환효율을 70%로 설정하여 배기온도와 연산하도록 하였다.

공기연령(Residence Time of Air)을 계산하기 위해 Passive Scalar를 적용하여 각각의 격자에서 매초 1씩 증가하도록 설정하여 공기입자가 유동하는 동안 증가량을 계산하여 공기연령을 확인하였다.

급기풍량은 설계값을 반영하여 59 ㎡형은 106 CMH이며, 84 ㎡형은 151 CMH를 적용하였다.

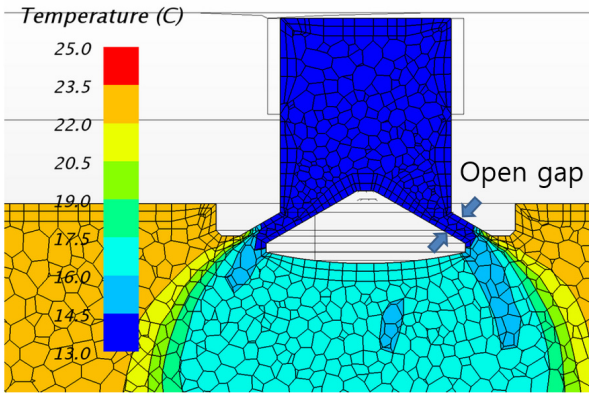


Fig. 5 Mesh and open gap.

Table 1 Calculation factor

	Type	Amount
Mesh	Polyhedral	1,850,000 cells
	Min mesh size	1 mm
	Max mesh size	100 mm
	Number of Prism Layer	3
Physics	Fluid	Idal Gas
	Gravity	-Z, 9.8 ㎡/kg
	Turbulence	K-Epsilon
	Heat Flux(room)	45 W/㎡
	Wall	Adiabatic
	Outdoor Temperature	-5℃
	SA Temperature	user define function (EA-(-5))×0.7+OA
	Residence Time Air (Passive scaler)	Every second 1 rise
	Supply Air Volume	59 ㎡ : 106 CMH
		84 ㎡ : 151 CMH
	Calculate state	Steady 3000 Steps

각 Case의 계산 실행은 정상상태로 설정하여 3000회의 반복계산을 하도록 하였다.

3. 결 과

공동주택에 열회수형 환기장치가 운전될 때 각 실에 적절한 공기분배가 이루어지도록 시공하는 방법을 고려해서 Case를 구분하였다. Table 2, Table 3은 Case 별 디퓨져의 Open gap을 나타낸 것이다.

Table 2 Calculation Case(59 ㎡)

Case	Diffuser	Open Gap	Diffuser	Open gap
Case 1	RA_1	15 mm	SA_1	15 mm
	RA_2	15 mm	SA_2	15 mm
	RA_3	15 mm	SA_3	15 mm
	RA_4	15 mm	SA_4	15 mm
	RA_5	15 mm	SA_5	15 mm
Case 2	RA_1	10 mm	SA_1	13 mm
	RA_2	6 mm	SA_2	4 mm
	RA_3	15 mm	SA_3	10 mm
	RA_4	13 mm	SA_4	13 mm
	RA_5	13 mm	SA_5	13 mm
Case 3 * SA_2, RA_2 Damper 50%	RA_1	12 mm	SA_1	15 mm
	RA_2	6 mm	SA_2	6 mm
	RA_3	15 mm	SA_3	12 mm
	RA_4	15 mm	SA_4	13 mm
	RA_5	11 mm	SA_5	13 mm

Table 3 Calculation Case(84 ㎡)

Case	Diffuser	Open Gap	Diffuser	Open gap
Case 1	RA_1	15 mm	SA_1	15 mm
	RA_2	15 mm	SA_2	15 mm
	RA_3	15 mm	SA_3	15 mm
	RA_4	15 mm	SA_4	15 mm
	RA_5	15 mm	SA_5	15 mm
Case 2	RA_1	4 mm	SA_1	6 mm
	RA_2	10 mm	SA_2	15 mm
	RA_3	13 mm	SA_3	10 mm
	RA_4	15 mm	SA_4	15 mm
	RA_5	15 mm	SA_5	15 mm
Case 3 * SA_1 Damper 50%	RA_1	6 mm	SA_1	9 mm
	RA_2	6 mm	SA_2	15 mm
	RA_3	8 mm	SA_3	6 mm
	RA_4	15 mm	SA_4	15 mm
	RA_5	15 mm	SA_5	15 mm

표에서 SA와 RA는 급기를 구분한 것이며, 위치를 나타내는 숫자는 1, 2, 3은 침실이며 4, 5는 거실을 나타낸다.

Case 1은 시공초기 디퓨져의 Open gap을 15 mm로 일정하게 설정한 상태에서 계산한 결과이며, Case 2는 TAB를 통해서 디퓨져의 Open gap을 조정하여 각 실의 공기분배를 조절한 상태를 가정한 것이다.

Case 1의 결과에서 실내 공기온도와 공기연령의 분포는 상당히 큰 편차가 발생하는 것을 알았고, 설치시 공현장에서 TAB에 의해 디퓨져의 개구면적을 조정하는 것과 같은 방법으로 Open gap의 값을 바꾸어 수차례 계산을 수행함으로써 Case 2를 도출할 수 있었다.

Case 2의 결과에서 59 ㎡형은 열회수형 환기장치와 인접한 침실 2의 디퓨저 SA-2와 RA-2에 대해서 Open gap을 최소 또는 그 이하로 조정하였으나 설계된 급배기 풍량을 초과하는 상황이 나타났고. 84 ㎡형도 열회수형 환기장치와 인접한 침실 1의 디퓨저 SA-1과 RA-1에서 Open gap을 최소 또는 그 이하로 조정하였으나 설계된 급배기 풍량을 초과하였다.

Case 3은 Case 2의 계산결과와 급배기 디퓨져의 Open gap에 대한 목표 최소값 6 mm를 고려하여 분기댐퍼를 설치한 상태를 가정한 것이다.

59 ㎡형은 SA-2와 RA-2에 각각 분기댐퍼를 적용하여 50%의 개구면적을 만들었을 때 디퓨져의 Open gap 목표 최소값을 만족하였고, 84 ㎡형은 SA-1에 분기댐퍼를 적용하여 50%의 개구면적을 만들었을 때 디퓨져의 Open gap 목표 최소값을 만족하였다.

Fig. 6, Fig. 7은 각각 59 ㎡형 모델의 1.1 m높이에서 공기온도와 공기연령 평균값을 나타낸 것이다. 공기온도는 침실 2의 경우 Case 1의 조건에서는 재실자가 추위감을 느낄 수 있는 19.5℃이며, Case 2에 비해 Case 3의 조건에서는 실내 설계온도인 22℃에 근접한 21.5℃가 되었다. 또한, 침실 1과 거실은 Case 1의 조건에서는 설계 온도보다 높은 22.8℃이지만, Case 3에서는 설계온도 22℃에 근접한 22.4℃로 나타났다.

공기연령은 침실 2의 경우 Case 1에서 3278초로 침실 1의 6210초와 비교할 때 약 절반(53%)의 시간을 나타냈고, Case 2와 3에서는 침실 2의 경우 4431초, 침실 1은 5504초로 79%의 시간으로 편차가 줄어든 것을 알 수 있다.

Fig. 8, Fig. 9는 각각 84 ㎡형 모델의 1.1 m높이에 서 공기온도와 공기연령 평균값을 나타낸 것이다. 공기온도는 침실 1의 경우 Case 1의 조건에서는 재실자가 추위감을 느낄 수 있는 18.8℃로 나타났고, Case 2에 비해 Case 3에서는 설계온도 22℃에 근접한 21.7℃로 나타났다. 거실은 설계온도보다 높은 22.5℃로 나타났고,

ⓒ SAREK

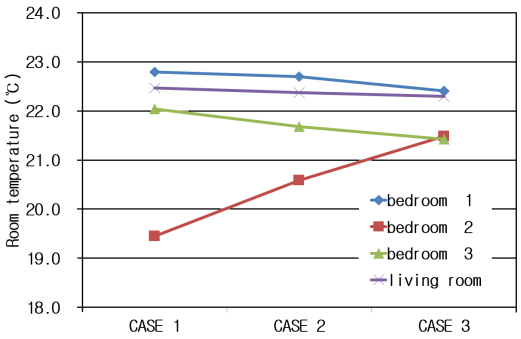


Fig. 6 Room temperature(59 ㎡).

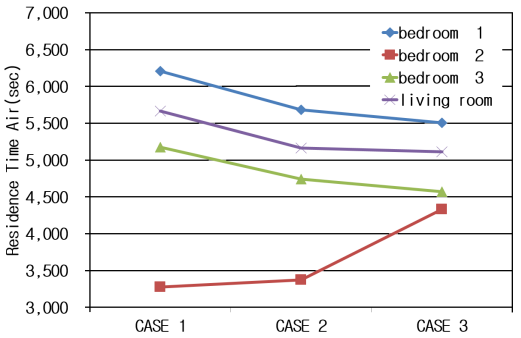


Fig. 7 Residence Time of Air(59 ㎡).

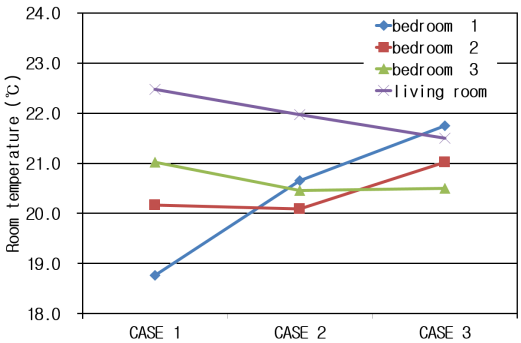


Fig. 8 Room temperature(84 ㎡).

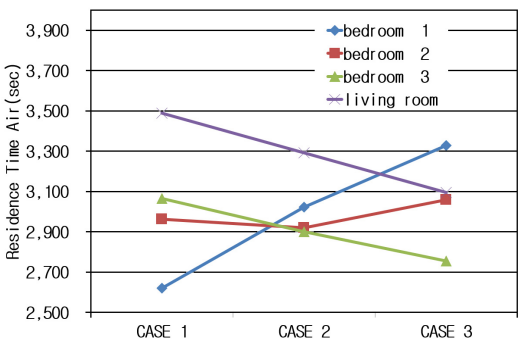


Fig. 9 Residence Time of Air(84 ㎡).

Case 2에 비해 Case 3에서는 설계온도 22℃보다 낮은 21.5℃를 나타냈다. Case 1-3의 조건을 고려할 때 Case 3의 조건 이 실의 평균 온도 편차가 적음을 알 수 있다.

공기연령은 침실 1의 경우 Case 1에서 2619초이지만, Case 3에서 3328초로 증가하였다. 반면에 거실과 침실 3의 값이 Case 1에서 각각 3488초와 3066초이지만, Case 3에서 각각 3095초와 2755초로 감소하였다. 1.1 m 높이 기준에서 평균값을 고려할 때 분기댐퍼를 적용하지 않은 Case 2가 Case 3보다 공기연령의 편차가 적은 것으로 나타났다.

Fig. 10~Fig. 13은 각각 59 ㎡형 모델과 84 ㎡형 모델의 1.1 m 높이에 대한 공기온도와 공기연령의 분포를 나타낸 것이다. 각 실의 온도와 공기연령 모두 Case 1에서 Case 2와 Case 3으로 진행될수록 분포가 균일해지는 것을 알 수 있다.

Fig. 14~Fig. 17은 59 ㎡형 모델과 84 ㎡형 모델의 1.1m 높이에서 공기온도와 공기연령의 표준편차를 나

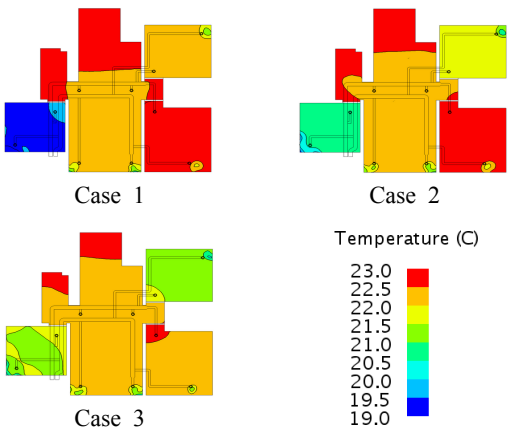


Fig. 10 Calculation result(Temperature, 59 ㎡).

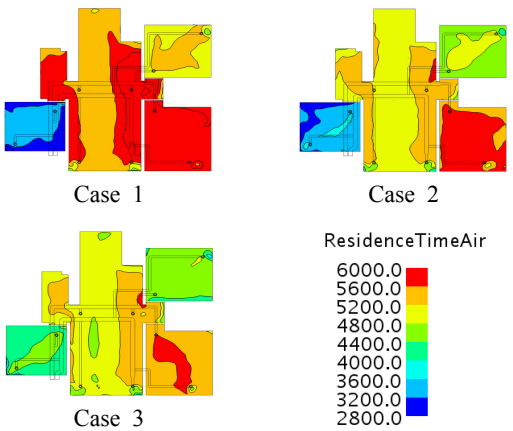


Fig. 11 Calculation result(Residence Time of Air, 59 ㎡).

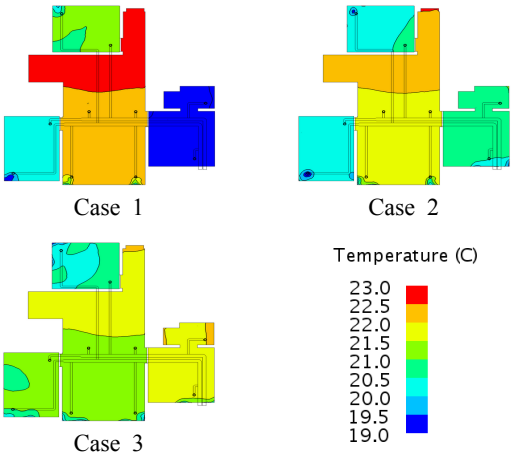


Fig. 12 Calculation result(Temperature, 84 ㎡).

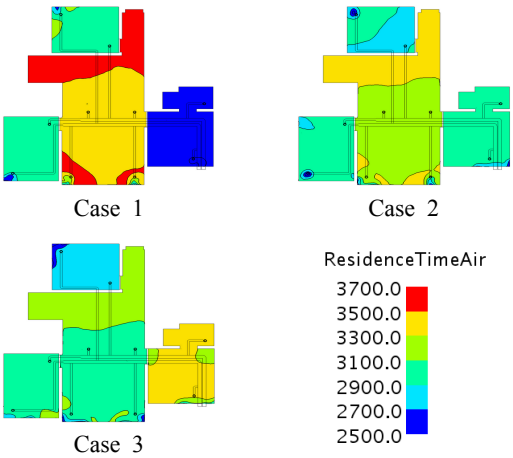


Fig. 13 Calculation result(Residence Time of Air, 84 ㎡).

타낸 것이다. 시공 후 TAB를 수행하기 이전에 해당하는 Case 1에서 1.1 m 높이의 전체공간에 대한 공기온도 표준편차는 59 ㎡형 모델의 경우 1.0℃, 84 ㎡형 모델의 경우 1.5℃로 나타났다. 따라서 1.1 m높이에서 온도편차가 크게 발생함을 알 수 있다.

TAB를 수행하여 각 디퓨져의 Open gap을 조절한 상태에 해당하는 CASE 2에서는 공기온도의 표준편차가 59 ㎡형 모델과 84 ㎡형 모델 각각 0.7℃와 0.8℃로 Case 1에 비해 감소하였다. 그리고 분기댐퍼를 적용한 CASE 3에서의 공기온도 표준편차는 59 ㎡형 모델과 84 ㎡형 모델 모두 0.4℃로 나타났다.

공기연령의 표준편차는 Case 1, Case 2, Case 3으로 진행되는 동안 59 ㎡형 모델의 경우에는 901초, 695초, 422초로 감소하였으며, 59 ㎡형 모델은 351초, 179초, 168초로 감소하였다. 따라서 1.1 m 높이에서 공기온도

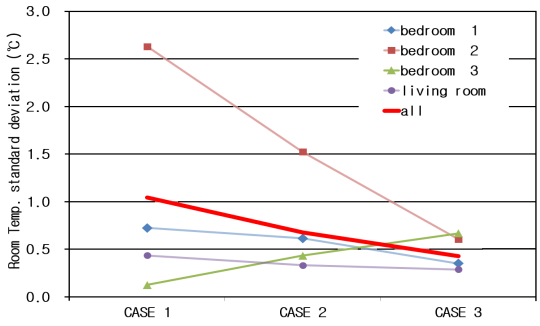


Fig. 14 Standard deviation(Temperature, 59 ㎡).

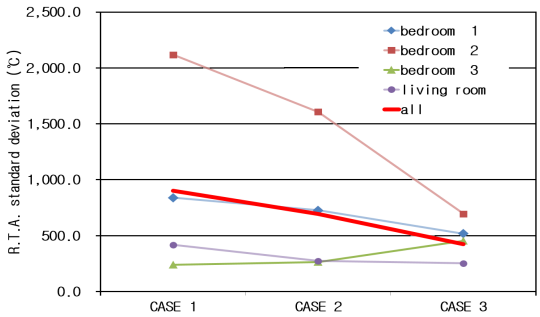


Fig. 15 Standard deviation(Residence Time of Air, 59 ㎡).

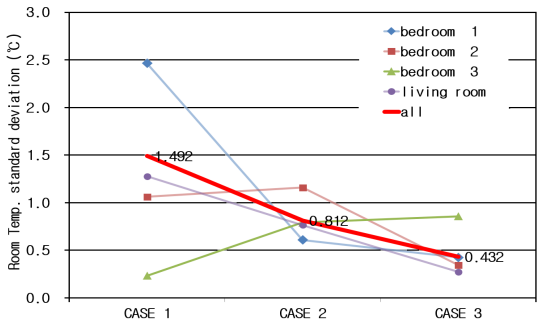


Fig. 16 Standard deviation(Temperature, 84 ㎡).

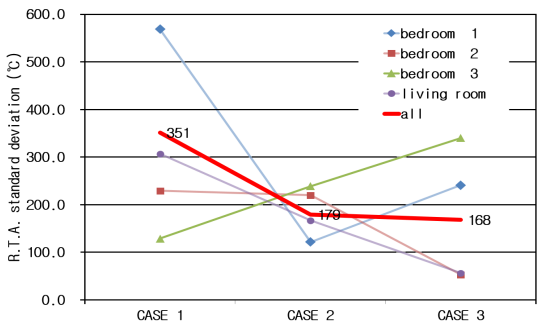


Fig. 17 Standard deviation(Residence Time of Air, 84 ㎡).

ⓒ SAREK

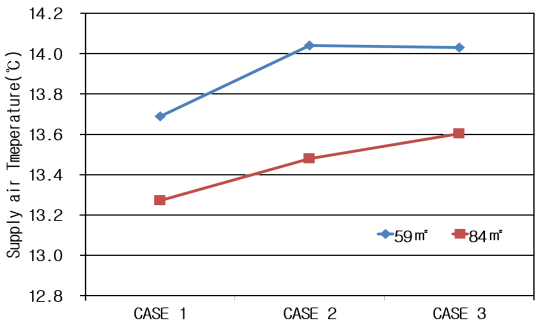


Fig. 18 Supply air temperature.

와 공기연령의 표준편차를 분석한 결과 TAB를 수행하기 전의 상태보다는 TAB를 수행한 후의 상태가 공기온도와 공기연령의 분포를 고르게 만드는 것으로 나타났다.

또한, 열회수형 환기장치의 급배기 송풍기와 인접한 디퓨져의 Open gap이 과도하게 적어지고, 공기 유속이 증가하여 발생되는 소음을 방지하기 위한 방법으로 분기 연결구에 분기댐퍼를 적용함으로써 공기분배를 개선할 수 있음을 알았다.

Fig. 18은 59 ㎡형과 84 ㎡형 모델에서 급기온도의 변화를 나타낸 것이다. 외기온 -5℃를 기준으로 열회수형 환기장치가 70%의 온도교환효율을 가진다면 설계상 실내온도 22℃ 기준 13.9℃로 급기 된다. 그러나 각 실의 공기분배가 적절하지 않은 경우 급기 된 공기가 충분히 데워지기 전에 배기되므로 설계상의 배기온도인 22℃에 미치지 못하는 상태에서 배기된다.

열회수형 환기장치의 시험평가 기준인 KS, KARSE 규격에서는 난방시 실내온도와 실외온도를 각각 22℃와 2℃로 규정하고 있다. 고효율 에너지기자재 보급촉진에 관한 규정(산업통상자원부고시 제2014-263호)에서 허용되는 온도교환효율을 70%임을 감안하면 외기온이 2℃일 때에는 급기온도가 16℃이다.

그러나, 외기온이 -5℃일 때에는 급기온도가 13.9℃로 적절한 기류분배가 이루어지지 않을 경우 실내온도가 더욱 낮아진다. 따라서, 열회수형 환기장치를 설치할 때 혹한기를 고려한다면 균일한 급배기 분배에 대해 충분히 검토할 필요가 있다.

4. 결 론

본 연구는 서울지역에 위치한 공동주택의 설계평면을 기준으로, 외기온이 -5℃ 이하가 되는 혹한기의 기후조건에서 열회수형 환기장치가 운전될 때 각 실에 적절한 공기분배가 이루어지도록 시공하는 방법과 동일한 순서로 CFD를 수행하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 본 연구에서 검토한 59 ㎡형과 84 ㎡형 모델 모두 디퓨져를 설치한 후 조정하지 않은 상태인 Case 1보다는 각 실의 급배기량을 고려하여 디퓨져의 Open gap을 조정한 Case 2에서 공기온도 및 공기연령의 분포가 균일했고, 급기온도가 높았다. 그리고 디퓨져의 Open gap만으로 조정이 어려운 열회수형 환기장치와 인접한 실에 대해서 분기댐퍼 병행하는 Case 3의 경우에는 Case 2보다 공기온도와 공기연령의 분포가 균일하고, 급기온도가 높았다.

(2) Case 1과 같이 열회수형 환기장치를 위한 각 실의 디퓨져를 설치한 직후에는 실내의 공기온도 및 공기연령의 분포가 균일하지 못하고, 열회수형 환기장치와 인접한 실에서는 재실자가 추위감을 느낄 수 있는 것으로 나타났다.

(3) Case 2와 같이 TAB를 통해 각 디퓨져의 급기면적을 조정하는 경우 공기분배를 개선할 수는 있는 것으로 나타났지만, 환기장치의 송풍기와 인접한 위치에서는 디퓨져의 개구면적이 과도하게 적어짐에 따라 소음의 우려가 있다.

(4) Case 3과 같이 디퓨져의 개구 면적과 분기댐퍼를 병용하여 급배기량을 조정하는 경우 실내 공기온도와 공기연령을 균일하게 분배하는 것이 가능한 것으로 나타났다.

(5) 열회수형 환기장치의 설치에 있어서 혹한기를 충분히 고려하기 위해서는 단순히 디퓨져의 개도를 조절하는 방식보다 필요한 위치에 분기댐퍼를 설치해서 급배기를 분배하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

References

1. KS B 6879 : 2007 Heat recovery ventilators.
2. KARSE B 0030-2003 Heat recovery ventilators.
3. Moon, G. B., 2013, Study on airflow distribution improvement of splitter damper in the ventilation system of the apartment building, Pukyong National University, Busan, Korea.
4. Shin, H. J., 2009, Improvement plan for an effectiveness elevation of apartment house ventilation equipment, Korea Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 38, No. 6, pp. 60-67.