KIEAE Journal, Vol. 21, No. 6, Dec. 2021, pp.39-45.

KIEAE Journal
Korea Institute of Ecological Architecture and Environment
112

거주자 재실 스케줄을 고려한 주거용 열회수 환기유닛 팬에너지 저감 가능성에 대한 실험 연구

- 바이패스 모드와 실별제어 모드가 적용된 현열교환 환기유닛의 케이스를 중심으로 -

Experimental Study on the Fan Power Reduction of Residential Heat Recovery Ventilators Considering Occupancy Schedules

- Focusing on the Application of By-pass control Mode and Room Control Mode -

조경주* · 조동우**
Kyungjoo Cho* · Dongwoo Cho**

** Main & Corresponding author, Research Specialist, Dept. of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology & Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (kyungjoocho@kict.re.kr)*
*** Senior Research Fellow, Dept. of Building Energy Research,, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (dwcho@kict.re.kr)*

ABSTRACT

Purpose: Recently in Korea, air quality deterioration due to ultra-fine particles is a social issue. For this reason, many residents have installed high-performance filters in heat recovery ventilators (HRVs) of their houses to eliminate it. Accordingly, the fan power of the HRVs can be increased due to the static pressure increase of the HRVs. One technique to reduce the increased fan power could be application of the by-pass control mode, and another could be the room control mode. In this study, the fan energy savings were presented through field experiments when the ventilation requirement provided for each room through the by-pass mode and the room control mode. **Method:** First, occupancy schedules were analyzed for calculating the ventilation requirement for each room in an 85m^2 apartment house. Second, the fan powers were measured with the practically required ventilation rates according to the occupancy schedules and all room ventilation mode. Third, the fan powers were presented through the field experiments when the by-pass control mode and room control mode were applied with the same experimental conditions. **Result:** It was analyzed that the fan powers could be reduced by 26~45% when the bypass ventilation mode is used and by 6.4~54.9% when the room control is applied. Therefore, active use of the bypass control mode and room control mode for the HRVs could be effective for building energy reduction.

ⓒ 2021. KIEAE all rights reserved.

KEYWORD
열회수 환기장치
팬에너지 저감
바이패스 모드
실별제어 모드

Heat Recovery Ventilator
Fan Energy Reduction
By-pass Control Mode
Room Control Mode

ACCEPTANCE INFO
Received Sep. 27, 2021
Final revision received Nov. 11, 2021
Accepted Nov. 17, 2021

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

건축물의 신축 허가 시 준수해야 하는 건축물의 외피 단열기준은 최근까지 꾸준히 강화되어왔다[1]. 과거에 지어진 주거용 건물들은 최근 지어진 건물에 비해 그 단열성능이나 기밀성능이 낮은 편이라 건물 외피를 통한 열손실이 크고 냉난방 에너지 소요량의 비율이 높은 편이었다[2]. 하지만 2018년 이후에 지어진 주거용 건물은 그 외피의 단열성능이 패시브하우스 수준에 달하고 기밀성능이 높아 외피를 통한 열손실이 매우 작은 편이다[3].

실내공기질을 적정 수준으로 유지하기 위해서는 실내외 공기를 교체해주는 환기가 필요하고 이 교체된 외부공기를 쾌적 수준으로 조화하기 위한 에너지가 추가로 필요하다. 이 에너지를 최소화하기 위해 버려지는 실내 공기의 열을 회수하는 시스템을 많이 사용하는데 이를 열회수 환기시스템이라고 한다. 이 열회수 환기시스템은 기계환기 시스템으로 급기 및 배기팬을 구동하기 위한 별도의 에너지가 필요하다.

최근 국내는 초미세먼지로 인한 공기질 악화가 사회 이슈이며 이를 제거하기 위해 열회수 환기장치에 고성능 필터를 설치하는 예가 많고[4] 이에 기내정압의 증가로 인한 팬동력이 높아지고 있는 실정이다. 이 팬동력을 줄일 수 있는 방법 중의 하나가 열교환기를 바이패스해 그 기내정압을 줄이는 바이패스 모드이다.

바이패스 모드는 외기가 열교환기를 경유하지 않고 급기덕트로 직접 유입되는 모드이다. 봄이나 가을과 같은 환절기는 외부공기의 온습도가 실내공기의 온습도보다 쾌적한 상태인 경우가 많은데 이 경우 실내외 공기가 열교환기를 통과하게 되면 쾌적하지 않은 상태가 될 수 있다. 이때 열회수 환기 모드가 아닌 바이패스 모드를 적용하면 쾌적한 외부공기를 실내공기와 열교환하지 않고 직접 유입할 수 있다.

급기팬을 선정할 때 기기 내부나 기기 외부의 압력손실에 의해 정압이 증가하면 풍량이 감소할 수 있으므로 기내정압과 기외정압을 고려한다. 보통 기내정압은 장치 내부의 열교환기 및 에어필터의 영

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
https://doi.org/10.12813/kieae.2021.21.6.039

향을 크게 받기 때문에[5] 이 모드를 적절히 적용하면 팬에너지 뿐 아니라 냉방에너지 절감도 가능하다[6].

또 하나의 팬동력 절감을 위한 기법은 실별제어이다[7].

현재 공동주택에 적용된 기계환기 설비의 경우 항상 세대 전체 공간을 대상으로 운전하는 경우가 대부분이다. 하지만 모든 실에 사람이 거주하는 상황은 드물기 때문에 거주자의 수나 유해물질의 발생 정도에 따라 환기량을 조절할 수 있다면 환기에 사용되는 팬에너지를 절감할 수 있을 것이다.

주거용 열회수 환기시스템에 대한 연구는 열교환 성능에 관련된 연구가 많이 이루어진 편이다[8-10]. 주거용 건물의 환기는 주로 법이나 기준에서 정하는 최소 환기량을 급배기 하는 것을 기본으로 하는 경우가 많고 이에 용량이 작아 팬동력을 절감하는 연구 자체는 활발하게 이루어지지 않은 편이다.

주거용 건물에 CO_2 센서[11], 재실센서[12], 혹은 둘 이상의 센서를 적용[13,14]하여 실내 환기량을 제어하는 수요기반제어 관련 연구는 다채롭게 이루어져왔고, 바이패스 모드를 통한 에너지절감 가능성에 대한 연구도 존재했으나[6,15]시뮬레이션을 통한 연구가 대부분이었다. 실제 공동주택에서의 실별 제어를 통한 에너지절감 연구도 존재했으나 단일 풍량, 미사용실 폐쇄 등의 단순 조작을 통한 분석이라는 한계가 있었다[7]. 또한, 실제 현장에서의 실험은 매우 드물어 실제 에너지 절감 효과를 확인하기는 어려웠다.

본 연구에서는 현재 대한민국에서 가장 선호되는 규모인 85m^2 공동주택 유닛에서 실제 필요한 실별 환기량을 재실자 스케줄 기반으로 분석하였다. 그리고 바이패스 모드와 실별 제어를 통해 실질적으로 필요한 환기량을 실별로 제공할 경우 팬동력 절감 정도를 현장 실험을 통해 제시하였다.

2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 재실자 스케줄 기반으로 계산된 실별 필요 환기량을 분석하고 그 환기량을 조건으로 바이패스 모드와 실별제어를 적용하는 경우의 팬동력 절감량을 확인하기 위해 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다.

가. 기존 문헌 및 통계자료를 통해 85m^2 공동주택의 실별 사용 스케줄을 확인한 후 대표 실사용 스케줄을 구성하였다.

나. 구성된 스케줄을 기반으로 외부 CO_2 농도와 재실자 수를 고려한 실별 필요 환기량을 계산하였다.

다. 위에서 분석된 실별 필요 환기량을 85m^2 공동주택을 모사한 실험 공간에서 전실환기로 공급할 때 팬동력을 확인하였다.

라. 위의 결과를 실별제어와 바이패스모드를 사용한 경우의 팬동력과 비교 분석하였다.

3. 연구의 진행

3.1 분석대상 공간

Fig. 1.은 본 연구의 분석 대상이 될 85m^2 공동주택 유닛 덕트 평면도이다. 본 유닛은 지상으로부터 16.5m 높이에 위치하고 있으며 층고는 3.0m, 천정고는 2.3m이다.

통계 자료에 따르면 85m^2 규모의 주택에는 일반적으로 4인 정도가 거주하는 것으로 조사되었다[16]. 이에 본 실험 대상 주택의 거주인 수를 부부와 자녀 2인으로 구성된 4인가구로 가정하였다.

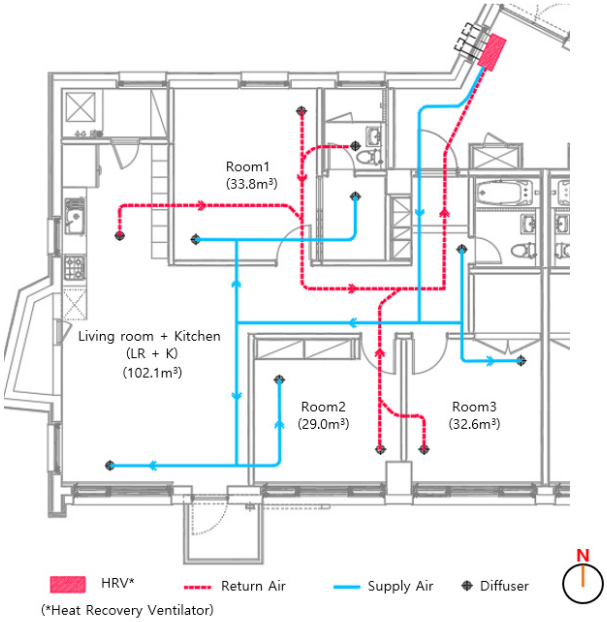
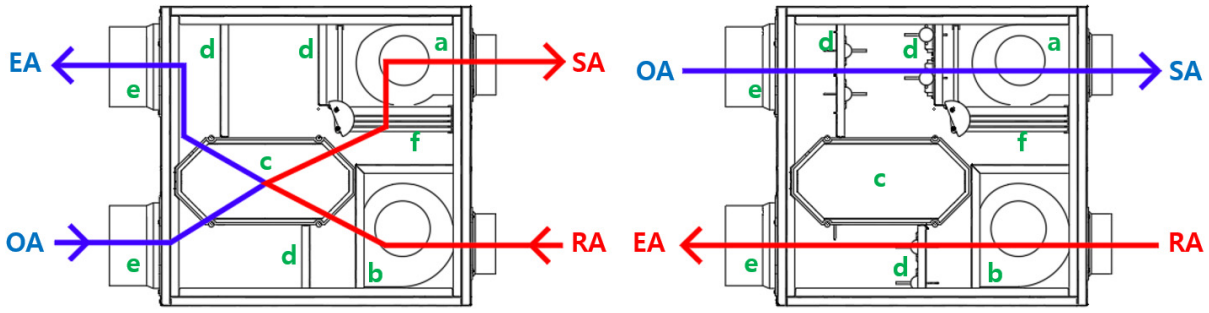


Fig. 1. A duct plan of an apartment unit for experiments



a: Supply fan, b: Return fan, c: Heat exchanger, d: Mode control damper, e: Main damper, f: Filters

(a) Heat recovery ventilation mode *(b) By-pass ventilation mode*

Fig. 2. Ventilation Modes for experiments

Fig. 2.는 85m^2 공동주택에 설치된 환기유닛의 구조 및 열회수 환기 모드와 바이패스 모드를 도시한 다이어그램이다. 본 환기유닛을 KS B 6879[17]에 따라 제작된 시험 챔버에서 공인시험한 결과는 Table 1.과 같다. 본 실험에 사용된 열회수 환기유닛은 현열교환소자가 설치된 환기유닛으로 전열교환소자를 적용한 환기유닛과는 기내저항이 달라 그 팬동력이 다를 수 있다.

실별 환기량을 조절하기 위해 개도의 조절이 가능한 모터 디퓨저(Fig. 3a.)를 각 실에 설치하였다. 이 모터 디퓨저의 개도는 완전 닫힘인 0부터 완전 열림인 3000까지 컴퓨터 프로그램으로 수동 조절이 가능해 급기 풍량을 조절한다.

각 실 급기 덕트 말단에는 급기 풍량의 실시간 확인이 가능한 풍량 측정기(Fig. 3b.)가 설치되어 있으며 이는 거실의 모니터(Fig. 3c.)에 PLC (Power line communication) 통신으로 연결되어 있다.

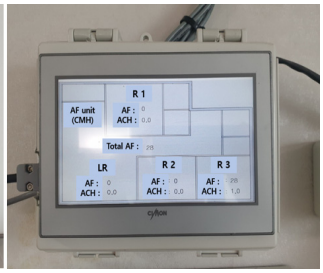
위와 같이 모든 실의 풍량 확인이 가능한 모니터를 통해 실별 공급풍량 및 환기횟수를 확인하며 Case 별 각 실의 환기횟수를 조절하였다. Case 별 소비전력은 열회수환기장치의 전원선에 연결된 소비전력계(SJPM-C16)를 통해 모니터링하였다.

Table 1. Test results according to KS B 6879

Item	Specification
Air leakage rate	2%≥
Heat exchange efficiency	heating 83%, cooling 73%
External Static Pressure	100Pa
Material	Polyethylene terephthalate (Sensible heat exchange type)
Fan and Motor type	Foward Type, BLDC
Motor power	72W (150CMH)

(a) A motor diffuser

(b)Flow metering system



(c)Air flow monitoring system

Fig. 3. A motor diffuser and air flow metering system

3.2 실사용 스케줄 분석

2019년 생활조사시간 결과[18]에 따르면, 대한민국 국민의 평균 취침 시각은 23시 22분, 평균 기상 시각은 6시 55분으로 평균 7시간 27분의 수면을 취하는 것으로 확인되었다. 단, 40대 이상의 평균 수면시간은 10대의 평균 수면시간보다 1시간 적은 것으로 조사되었다. 즉, 분석 조건인 4인 가족의 경우 부부는 약 7시간, 자녀 2명은 약 8시간 수면을 취하는 것으로 가정할 수 있다. 수업 및 근무시간은 일반적으로 9시~18시, 출퇴근 시간 평균 1시간 16분이다.

본 행위의 발생 장소는 실내이기 때문에 발생 가능한 행위의 범위를 수면과 가벼운 업무 두 가지로 구분하고 행위의 시간 단위를 30분 단위로 정리하였다.

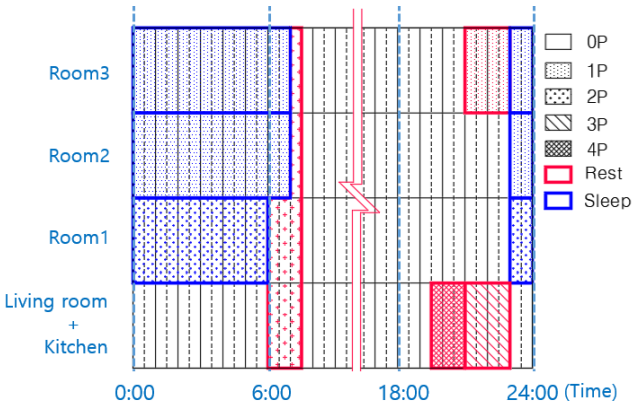
이를 요약하면 다음과 같다.

- 부부는 23시에 취침하고 6시에 기상하여 7시까지 식사준비 및 출근 준비 등을 한다.
- 자녀들은 7시에 기상하여 등교 준비 및 아침 식사를 한다.
- 가족 모두 7시 30분에 집을 떠나며 19시 30분에 귀가한다.
- 귀가 후 부부는 20시 30분까지 샤워, 저녁준비 등을 한다.
- 가족들은 20시 30분에 식사를 시작해 21시에 종료한다.
- 21시부터 23시까지 가족들은 거실에서 거주하거나 침실에서 거주하다가 23시에 취침한다.

위의 데이터를 반영하면 오전의 경우 큰 변동이 존재하기 어렵지만 오후 21시 이후의 경우 다양한 실별 조건이 발생할 수 있다. 가령 21시부터 23시까지 거실에는 1명~4명까지 다양한 수의 거주자가 거주할 수 있다. 2시간을 재실 조건 변경 단위로 본다면 Table 1.과 같이 그 경우의 수는 16개로 구분되며, 1시간을 재실 조건 변경 단위로 본다면 총 256개의 상황으로 구분될 수 있다.

분석을 단순화하기 위해 21시부터 23시까지의 재실조건을 Table 2.의 2시간 단위 16개로 간략화하였다.

Fig. 4.는 19시 30분 귀가한 가족 4인이 1시간 30분 동안 식사 등을 하며 거실에 머물다가 21시에 자녀 1명이 방3으로 이동한다. 거실에서 머물던 나머지 3인은 23시에 각자의 침실로 이동해 취침하는 상황을 모사한 다이어그램이다.



** P : Number of Occupants / h: hour*

Fig. 4. Occupancy schedule of the rooms for experiments

ⓒ2021. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

Table 2. Number of occupants for 21:00~23:00

	Number of occupants			
	L+K	R1	R2	R3
Case 1	4	0	0	0
Case 2	3	1	0	0
Case 3	3	0	1	0
Case 4	3	0	0	1
Case 5	2	2	0	0
Case 6	2	0	2	0
Case 7	2	0	0	2
Case 8	2	0	1	1
Case 9	2	1	1	0
Case 10	2	1	0	1
Case 11	1	2	1	0
Case 12	1	2	0	1
Case 13	1	1	2	0
Case 14	1	0	2	1
Case 15	1	1	0	2
Case 16	1	0	1	2

3.3 실별 필요 환기횟수 계산

실별 상황에 따라 거주자 호기에 의해 발생한 CO_2를 내외부 공기 교환을 통해 제거하기 위한 실별 필요 환기량을 계산하였으며 그 식은 아래와 같다.

$$\frac{G}{C_L - C_o} \quad \text{(Eq. 1)}$$

C_o : CO_2 level outside (ppm)
C_L : CO_2 level inside requirement (ppm)
G : CO_2 generation (ppm)

외부 CO_2 농도는 계절에 따라 10~20ppm 정도 달라지는 경향이 있으나 겨울철이 높은 수준으로 이를 계산에 적용하였다. 이에 기상청에서 제공하는 2019년 안면도의 12월 평균 CO_2 농도 421ppm을 C_O으로 하였고[19], 실내공기질 관리법에서 제시하는 실내 권장 최소 CO_2 농도 기준 1000ppm을 C_L로 하였다[20].

CO_2 증가량 G의 경우 재실자의 호기량을 기준으로 하므로 ASHRAE 62.1[21]에서 제공하는 성인 1명의 경작업에서의 CO_2 호기량은 18L/h, 수면시 CO_2 호기량은 12L/h을 계산에 이용하였다. 계산 결과, 재실자 1인당 필요한 환기량은 경작업시 약 31㎥/h, 수면시 21㎥/h이었다. 단, 관련 법[22]에서 주거용 환기장치의 최소 환기량을 환기횟수로 규정하고 있기 때문에 위의 필요 환기량을 실별 환기횟수로 환산하여 실험 조건으로 반영하였다. Table 2.의 재실자수 및 실부피와 조합하여 환기횟수를 산정한 결과가 Table 3.이다. Case 17은 수면시 실별로 제공되어야할 환기횟수이다.

Table 3. Ventilation requirements for 21:00~23:00

	L+K (ACH)	Room1 (ACH)	Room2 (ACH)	Room3 (ACH)
Case 1	1.2	0.0	0.0	0.0
Case 2	0.9	0.9	0.0	0.0
Case 3	0.9	0.0	1.1	0.0
Case 4	0.9	0.0	0.0	0.9
Case 5	0.6	1.8	0.0	0.0
Case 6	0.6	0.0	2.1	0.0
Case 7	0.6	0.0	0.0	1.9
Case 8	0.6	0.0	1.1	0.9
Case 9	0.6	0.9	1.1	0.0
Case 10	0.6	0.9	0.0	0.9
Case 11	0.3	1.8	1.1	0.0
Case 12	0.3	1.8	0.0	0.9
Case 13	0.3	0.9	2.1	0.0
Case 14	0.3	0.0	2.1	0.9
Case 15	0.3	0.9	0.0	1.9
Case 16	0.3	0.0	1.1	1.9
Case 17	0.0	1.2	0.7	0.6

Table 4. Infiltration rates of each rooms

	L+K (ACH)	Room1 (ACH)	Room2 (ACH)	Room3 (ACH)
Max	0.37	0.61	0.25	0.41
Min	0.25	0.23	0.15	0.23
Average	0.33	0.41	0.20	0.30

각 실에서 실제로 필요한 환기횟수를 산정하기 위해 아래의 세 가지를 고려하였다.

첫째, 각 실의 침기율을 고려하였다.

기존 문헌에 따르면 침기율이 높은 실의 경우 침기율만큼 환기횟수가 작아도 실이 요구하는 수준의 환기량을 제공할 수 있을 것으로 분석되었다[23].

Table 4.는 각 실의 문을 닫은 상태에서 실시한 침기량 측정 실험에 따라 계산된 각 실의 침기율 표이다. 이는 KS F 2603[24]에 따라 30분 이내, 5회 반복 측정되었고 침기량 산정을 위해 사용된 수식은 Eq. 2와 같다.

$$Q = 2.303\frac{V}{t}\log_{10}\frac{C_1 - C_0}{C_t - C_0} \quad \text{(Eq. 2)}$$

Q : supply air volume (m^3/h)
V : space volume (m^3)
t : time (h)
C_1 : initial CO_2 level(m^3/m^3)
C_t : CO_2 level after hours(m^3/m^3)
C_0 : CO_2 level in supply air(m^3/m^3)

실험 실시 전 창문을 열어 실험 대상 공간 CO_2 농도를 외부 CO_2 농도와 동일하게 한 후(430~450ppm), CO_2 가스 발생기를 통해 실내 CO_2 농도값이 2,000~2,100ppm에 다다랐을 때 CO_2 가스를 분사를 멈추고 자연감쇠하게 하였다.

둘째, 주거용 열회수 환기장치에 대한 법적 기준을 고려하였다.

건축물의 설비기준 등의 관한 규칙[22]에 따르면 주거용 열회수 환기장치는 0.5ACH 이상의 환기량을 제공할 수 있어야 하며 3단 이상의 풍량제어가 가능해야 한다. 0.5ACH의 기계환기에 실별 침기율을 반영하여 위의 식1과 2에 따라 계산하면, 볼륨이 가장 큰 LR+K는 4명이 2시간을 거주해도 1,138ppm 정도의 CO_2 농도를 보이지만, 가장 작은 볼륨을 가진 R3는 2명이 2시간을 거주해도 1,772ppm까지 CO_2농도가 증가할 수 있다.

셋째, 재실자가 없는 경우에도 최소 환기를 실시하였다.

기존 문헌[25]에 따르면 건축 마감재 등에서 발생하는 오염물질이 최소 환기횟수인 0.5ACH의 환기량으로 제거되었다. 이에 거주자가 없는 경우도 최소 환기를 실시하는 것으로 실험 조건을 설정하였다.

Table 3.에 따라 각 실은 0.3~2.1ACH의 환기량이 필요하지만 이 필요 환기횟수에서 각 실의 침기율을 빼고, 최소 환기횟수를 0.5ACH를 반영하면 0.5~1.9ACH가 필요할 것으로 계산된다.

관련 법에 따라 주거용 기계식 환기장치의 경우 3단 이상의 풍량제어가 가능해야하므로 0.5/1.0/1.5/2.0ACH의 4가지 케이스로 환기하는 것으로 하고 침기율을 반영한 각 실의 필요 환기횟수를 4단계로 조정하였다.

Table 5.는 위의 기준에 따라 재설정된 실별 환기횟수이다.

4단 제어로 조정한 결과 Case 1과 2, Case 3과 9, Case 8과 10은 동일조건을 확인되어 후에 반복된 케이스를 삭제하였다. 그 결과 실험은 총 14가지 Case에 대해서 실시되었으며, 7월 중순 5일에 걸쳐 각 3회씩 수행된 값의 평균을 정리한 표가 Table 6.이다.

전실제어의 경우 모든 실에 필요한 환기횟수 이상의 환기량이 공급되어야하기 때문에 실의 환기횟수가 가장 높은 실을 기준으로 환기한다. 예를 들어 Case1의 경우 전 실을 1.0ACH로 환기하였다.

Table 5. Ventilation cases for experiments

	L+K (ACH)	Room1 (ACH)	Room2 (ACH)	Room3 (ACH)
Case 1	1.0	0.5	0.5	0.5
Case 3	1.0	0.5	1.0	0.5
Case 4	1.0	0.5	0.5	1.0
Case 5	1.0	1.5	0.5	0.5
Case 6	1.0	0.5	2.0	0.5
Case 7	1.0	0.5	0.5	2.0
Case 8	1.0	0.5	1.0	1.0
Case 11	0.5	1.5	1.0	0.5
Case 12	0.5	1.5	0.5	1.0
Case 13	0.5	0.5	1.0	0.5
Case 14	0.5	0.5	2.0	1.0
Case 15	0.5	0.5	0.5	2.0
Case 16	0.5	0.5	1.0	2.0
Case 17	0.5	1.0	0.5	0.5

* Case 2, 9, 10 have been deleted because the same case exists

Table 6. Fan powers according to the experimental cases

	Total air flow rate (CMH)			HR mode power draw (W)			By-pass mode power draw (W)		
	All rooms	Room Control	Savings	All rooms	Room Control	Savings	All room	Room Control	Savings
Case 1	198.0	150.0	24.2%	88	63.8	27.5%	50	35.6	28.8%
Case 3	198.0	164.5	16.9%	88	70.6	19.8%	50	43.6	12.8%
Case 4	198.0	166.5	15.9%	88	67.1	23.8%	50	41	18.0%
Case 5	297.0	184.0	38.0%	151.4	91.6	39.5%	89.2	57.4	35.7%
Case 6	396.0	193.5	51.1%	219.6	106.2	51.6%	133.4	78.4	41.2%
Case 7	396.0	199.5	49.6%	219.6	96.6	56.0%	133.4	69.4	48.0%
Case 8	198.0	181.0	8.6%	88	76	13.6%	50	46.8	6.4%
Case 11	297.0	147.5	50.3%	151.4	81	46.5%	89.2	54.8	38.6%
Case 12	297.0	149.5	49.7%	151.4	78.1	48.4%	89.2	51.8	41.9%
Case 13	198.0	113.5	42.7%	88	58.6	33.4%	50	41	18.0%
Case 14	396.0	159.0	59.8%	219.6	96.2	56.2%	133.4	66	50.5%
Case 15	396.0	148.5	62.5%	219.6	85.6	61.0%	133.4	60.2	54.9%
Case 16	396.0	163.0	58.8%	219.6	92	58.1%	133.4	63.2	52.6%
Case 17	198.0	116.0	41.4%	88	70	20.5%	50	38.4	23.2%

ⓒ2021. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

4. 실험결과

4.1 실험결과

본 연구의 분석 케이스인 21:00~23:00까지 재실케이스에 따른 동력소요량 정도를 전실을 제어하는 경우와 실별제어하는 경우로 나누어 분석한 결과는 Table 5.와 같다.

Table 5.의 첫 열 Total Air Flow Rate는 전체 실에 급기된 풍량을 말하면 전실제어를 하는 경우의 풍량 All rooms와 실별 제어를 하는 경우의 풍량 Room Control로 구분되어있다. Savings는 실별제어를 통해 절감된 풍량의 비율을 의미한다. 두 번째 열 HR Mode Power draw와 세 번째 열 By-pass mode power draw는 열회수 환기모드와 바이패스 환기모드의 팬동력으로 전실제어와 실별제어 케이스가 각각 실험되었다. Savings는 실별제어를 통해 절약된 케이스별 팬동력이다.

위의 실험 결과를 분석한 내용은 아래와 같다.

첫째, 위 분석 케이스에서 실별제어를 하는 경우는 전실제어를 하는 경우에 비해 8.6%~62.5%의 풍량 절감이 가능했다.

풍량의 절감이 가장 큰 경우는 Room2, 3에 2인이 거주하는 경우였다. Room2, 3에 2인이 거주하는 경우는 실별 침기율을 고려하더라도 환기횟수가 2.0ACH까지 필요한 것으로 나타났다. 이에 전실제어의 경우 2.0ACH로 유닛 전체를 환기해야 했고 이는 팬의 정격성능을 벗어나는 큰 팬동력을 요구하기 때문에 그 절감량이 더 크게 나타난 것으로 분석되었다.

둘째, 열회수 환기모드와 바이패스 환기모드의 팬동력을 비교해 보았을 때 바이패스 환기모드가 전실제어 조건에서는 39%~43%, 실별제어 조건에서는 26%~45%까지 더 작은 팬동력을 보였다.

셋째, 열회수 환기모드에 실별제어를 적용했을 경우의 팬동력 절감률은 13.6%~61%였고 바이패스 환기모드에 실별제어를 적용했을 경우의 팬동력 절감률은 6.4%~54.9%로 나타났다.

넷째, 열회수 환기모드에 실별제어를 적용했을 경우의 절감률이 바이패스 환기모드에 실별제어를 적용했을 경우의 절감률보다 다소 큰 편으로 나타났지만 그래도 거의 유사한 경향을 보이고 있었다. 또한, 풍량 절감률이 유사해도 급기 디퓨저에서 환기유닛까지의 덕트 길이가 긴 실의 풍량 감소가 큰 쪽 팬동력 절감이 대체적으로 큰 경향을 보였다. 예를 들어, Case 6과 7은 풍량 감소비율은 51.1%와 49.6%로 거의 유사하고 Case 6쪽이 살짝 높지만, 실별제어를 통한 전력량 감소분은 Case 7의 경우가 열회수 모드의 경우 4.4%, 바이패스모드의 경우 6.8% 더 높다. 이는 Case 7은 환기유닛부터 급기구까지의 거리가 짧은 Room 3으로 풍량이 많이 배분되어 기외저항이 줄어들기 때문으로 분석된다. Case 3, 4와 Case 11, 12도 동일한 경우로 해석된다.

5. 결론

본 연구에서는 85m^2 공동주택에서 재실자로 인해 발생하는 CO_2를 제거할 수 있는 필요 환기횟수를 실별로 산정하여 바이패스 환기모드와 실별 제어를 수행시 팬동력 절감 정도를 현장 실험을 통해 제시하였다.

그 결과, 바이패스 환기모드를 사용하는 경우 26%~45%, 실별제어를 적용하는 경우 6.4%~54.9%까지의 팬동력을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 바이패스 환기모드, 실별제어 모두 환기장치의 기내저항이 커지고 있는 요즘 팬동력 절감 효과를 더 크게 볼 수 있을 것으로 예측되는 기술이다. 감염병 등의 이슈로 필요 환기량이 많아지고 초미세먼지 이슈로 고성능 필터의 설치가 일반적이 되어버린 현 시점, 두 기술을 적극적으로 활용할 수 있다면 주거용 건물의 환기에너지 절감에 더 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

Acknowledgement

This study is part of a research project conducted with funding from the Ministry of Trade Industry and Energy in Korea (grant number 20009795).

Reference

[1] 김대원 외 3인, 공동주택 연도별 단열기준 강화에 따른 에너지소요량 비교 연구, 에너지공학, 제22권 제 2호, 2013, pp.83-39. // (D.W. Kim et al., Comparative Study on Heating Energy Consumption for Apartment Based on the Annually Strengthened Criteria of Insulation, Energy Engineering, 22(2), 2013, pp.83-89.)

[2] 옹드람, 박승환, 송두삼, 국내 고층건물의 기밀성능 현황 및 국내외 외피 기밀성능 기준과의 비교, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2018, pp.291-296. // (M. Undram, S.H. Park, D.S. Song, Analysis of the Airtightness Status of High-Rise Buildings in Korea, Conference Journal of The Society of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers of Korea, 2018, pp.291-296.)

[3] 김주욱, 송두삼, 국내 건물의 성능기준 변화를 고려한 냉방시스템 용량 산정 기준의 적정성 분석, 설비공학논문집, 제31권 제2호, 2019, pp.55-61. // (J.W. Kim, D.S. Song, Appropriateness of the Domestic Standard for Sizing Capacity of Air-Conditioner Capacity According to the Thermal Performance Changes in Domestic Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 31(2), 2019, pp.55-61.)

[4] 냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 칸, 미세먼지 드리운 아파트...건설사 대응 솔루션 '주목', https//www.kharn.kr, 2019.06.09. // (Korean Heating Air-conditioning Refrigeration & Renewable Energy News Kharn, Apartment Housing with Finedust... How Can the Building Construction Companies Solve This Problem?, https//www.kharn.kr, 2019.06.09)

[5] 정용대, 이상문, 박병용, 열회수형 환기장치의 필터 압력손실 변화에 따른 에너지성능 분석, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2019, pp.273-276. // (Y.D. Jung, S.M. Lee, B.Y. Park, Energy Performance Analysis According to Filter Pressure Loss Change of Heat Recovery Ventilator, Conference Journal of the Society of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 2019, pp.273-276.)

[6] 김철호 외 4인, 열회수형 환기장치의 타입별 By-pass 제어에 따른 에너지 최적 운영 방안에 관한 연구, 설비공학논문집, 제32권 제7호, 2020, pp.309-322. // (C.H. Kim et al., Energy Saving Optimal Operation Strategy for By-pass Control by Various Types of Energy Recovery Ventilator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 32(7), 2020, pp.309-322.)

[7] 신현준, 실별 공조 및 환기시스템의 도입 타당성 분석, 대한설비공학회 학술발표대회 논문집, 2010, pp.337-345. // (H.J. Shin, Analysis of Economic Efficiency on Individual Room Control Ventilation in Apartment House, Conference Journal of the Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea Summer Conference, 2010, pp.337-345.)

[8] 최연희, 송두삼, 실험을 통한 공동주택 환기시스템의 실제 운전 시 전열교환성능 검토, 설비공학논문집, 제29권 제2호, 2017, pp.63-73. //

(Y.H. Choi, D.S. Song, An Evaluation on Energy Recovery Performance of the Ventilation System in Multi-Residential Building by Field Measurement, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 29(2), 2017, pp.63-73.)
[9] 정민호, 오병길, 벽체매립형 폐열회수 환기시스템의 열회수 성능 향상에 관한 실험적 연구, 설비공학논문집, 제26권 제2호, 2014, pp.61-66. // (M.H. Jung, B.G. Oh, An Experimental Study on Performance Improvement for Exhaust Heat Recovery Ventilation System in a Lightweight Wall, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 26(2), 2014, pp.61-66.)
[10] 한화택, 추연복, 외기 온습도 조건에 따른 폐열회수 환기장치의 열전달 특성 및 불확실성에 관한 연구, 설비공학논문집, 제20권 제9호, 2008, pp.608-613. // (H.T. Han, Y.B. Choo, A Study on Heat Transfer Characteristics and Uncertainty of Heat Recovery Ventilator for Various Outdoor Temperature/Humidity Conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 20(9), 2008, pp.608-613.)
[11] 홍성민, 윤동원, 공동주택 멀티존 CO2 제어기반 환기제어 특성 연구, 대한건축학회 논문집, 제27권 제9호, 2011, pp.341-348. //(S.M. Hong, D.W. Yoon, A CO2 Sensor based Demand Controlled Ventilation Strategies with Multi-zone Analysis in the Apartment House, Journal of the Architectural Institute of Korea, 27(9), 2011, pp.341-348.)
[12] D.K. Mortensen, I.S. Walker, M.H. Sherman, Optimization of Occupancy Based Demand Controlled Ventilation in Residences, International Journal of Ventilation, 10, 2011, pp.49-60.
[13] V. Pavlovas, Demand controlled ventilation: A Case Study for Existing Swedish Multifamily Buildings, Energy and Buildings, 2004, 36, pp.1029-1034.
[14] J. Laverge et al., Energy Saving Potential And Repercussions On Indoor Air Quality of Demand Controlled Residential Ventilation Strategies, Building and Environment, 46, 2011, pp.497-1503.
[15] B. Li, P. Wild, A. Rowe, Free cooling potential of air economizer in residential housed in Canada, Building Environment, 167, 2020, 106460.
[16] 통계청, 2019 주거실태조사, https://kostat.go.kr, 2021.02. // (Statistics Korea, 2019 Korea Housing Survey, https://kostat.go.kr, 2021.02.)
[17] 산업표준심의회, KS B 6879 열회수형 환기장치, 2017. // (Korean Standards Association, KS B 6879 Heat Recovery Ventilator, 2017.)
[18] 통계청, 2019 생활시간조사, 사회통계기획과, 2020. // (Statistics Korea, 2019 Life Time Survey Results, Social Statistics Bureau Social Statistics Planning Division, 2020.)
[19] Korea Meteorological Agency, Average CO_2 levels per month in Korea, http://www.climate.go.kr/home/09_monitoring/2021.05.
[20] 환경부, 실내공기질 관리법 시행규칙, 환경부령 제918호. // (Ministry of Environment, Enforcement Rules of the Indoor Air Quality Management Act, Ministry of Environment Ordinance, 918.)
[21] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE 62.1., Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 2019.
[22] 국토교통부, 건축물의 설비기준에 관한 규칙, 국토교통부 고시 제2017-467호. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Rules on the Building Equipment Standards, Korean MOLIT, 2017-467.)
[23] 조경주, 조동우, 주택 침실의 침기 및 기계 환기에 따른 CO_2 농도 변화 분석, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제15권 제4호, 2021, pp.386-394. // (K.J. Cho, D.W. Cho, Analysis of CO_2 Levels depending on the Infiltration and Mechanical Ventilation Rates of Bedrooms in an Apartment House, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 15(4), 2021, pp.386-394.)
[24] 산업표준심의회, KS F 2603, 옥내 환기량 측정 방법, 2016. // (Korean Standards Association, KS F 2603, Standard Test Method for Measuring Indoor Ventilation Rate Carbon Dioxide Method, 2016.)
[25] 이병희, 김선동, 전주영, 자연환기에 따른 공동주택 실내 라돈농도 변화, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2019. // (B.H. Lee, S.D. Kim, C.Y. Chun, Impact of Natural Ventilation on Indoor Radon Concentration in Residential Building, Conference of Architectural Institute of Korea, 2019.)

ⓒ2021. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.