

## 소형 공동주택의 하이브리드 환기시스템 성능실험 연구

전 주 영<sup>†</sup>, 김 길 태, 이 종 성, 김 상 희  
대한주택공사 주택도시연구원

### A Study on the Performance Evaluation of the Hybrid Ventilation System for Small Apartment Houses

Chu-Young Chun<sup>†</sup>, Gil-Tae Kim, Jong-Sung Lee, Sang-Hee Kim  
Housing and Urban Research Institute, KNHC, #175, Gumi-dong, Bundang Seongnam, Gyeonggi-do, Korea  
(Received August 5, 2008; revision received September 11, 2008)

**ABSTRACT:** From Feb. 2006, the ventilating systems with air exchange rate of over 0.7times/hour are installed at the apartment houses (over 100 units). Installation cost and maintenance cost are very important factors for ventilating system because consumers have to pay the expenses of that system. Especially small apartment needs more considerations because small apartment is comparatively the economically weak part. The purpose of this study is to the performance evaluation of the hybrid ventilation system for small apartment houses. Hybrid system 1 consists of natural ventilation system and duct type exhaust diffusers. Hybrid system 2 has natural ventilation system and toilet exhaust system with static pressure fan. Infiltration of test apartment houses with ventilation system is under 0.1 times/hour. Mean air age of hybrid system 1 is 1.52 hours and hybrid system 2 is 1.42 hours. Mean ventilation effectiveness of hybrid system 2(93%) is higher than that of hybrid system 1(81%).

**Key words:** Hybrid ventilation(하이브리드환기), Ventilation effectiveness(환기효율)

#### 기 호 설 명

$Q$  : 급기량 [ $m^3/h$ ]  
 $V$  : 실체적 [ $m^3$ ]  
 $t$  : 1회 때부터 측정까지 경과 시간 [h]  
 $C_I$  : 측정 시간( $t = 0$ )의  $CO_2$  농도 [ $m^3/m^3$ ]  
 $C_t$  :  $t$  시간 후  $CO_2$  농도 [ $m^3/m^3$ ]  
 $CO$  : 급기 중의 이산화탄소 농도 [ $m^3/m^3$ ]  
 $qv$  : 취출풍량 [ $m^3/h$ ]  
 $C_p(t)$  : 시간  $t$ 일 때 추적가스의 농도 [ppm]  
 $C_p(0)$  : 추적가스의 초기농도(즉,  $t = 0$ ) [ppm]

#### 그리스 문자

$\epsilon$  : 평균환기효율 [%]  
 $\tau_n$  : 명목시간상수(Nominal Time Constant)  
 $\tau_e$  : 실내평균 공기연령 [min]  
 $\tau_p$  : 국부평균 공기연령 [min]

#### 1. 서 론

‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’ 개정(2006. 2)에 의해 100세대 규모 이상의 신축 및 리모델링 공동주택의 경우 세대 환기량이 시간당 0.7회 이상 이루어지도록 자연환기설비 또는 기계환기 설비를 설치하도록 규제화되어 시행되고 있다. 개정된 법령이 시행된 지 2년여 기간이 지나면서 현재

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-738-4725; fax: +82-31-738-4700

E-mail address: jychun@jugong.co.kr

관계 법령이 적용된 해당 신축 공동주택들이 일부 입주되고 있으며, 또한 적용대상 사업이 아니어도 설계변경을 통하여 실내공기환경 개선을 위한 환기시스템을 적용하여 시행되었다.<sup>(1)</sup>

환기설비 관련 시장에서도 당초 대부분 수입에 의존하여 고가의 비용으로 환기시스템을 시공해야 했던 초기시장과 비교하여 현재는 환기장치 비용이 상당부분 저감되었다. 그러나 반대로 시스템에 대한 환기성능 및 환기로 인해 발생하는 에너지손실을 회수하기 위한 열교환기의 성능검증이 검토되지 못하고 건설업체에서 비용부분만을 고려하여 적용하고 있는 실정이다.

환기설비 설치에 따른 초기 시공비 및 사용 시의 관리비 및 유지보수비, 운영비 및 부가되는 에너지비용은 그대로 입주자에게 전가되기 때문에 소형 공동주택의 경우는 보다 저렴하면서 효율적인 환기시스템이 요구된다. 이에 소형 공동주택에 효율적인 환기시스템의 성능검토를 기반으로 적정 환기시스템 선정 기준 정립을 통하여 가장 효율적인 환기시스템을 도출할 수 있는 선정시스템 구축이 필요하다.

공동주택에 적용되는 환기시스템은 덕트급배기 시스템, 벽부착형 환기시스템 및 기계환기시스템과 자연환기의 혼합형인 하이브리드 환기시스템이 적용되고 있다. 하이브리드 환기방식은 상시 기계환기방식과 비교하여 에너지절약적인 것으로 나타나<sup>(2)</sup> 소형공동주택에 많이 설치되고 있다.

하이브리드 환기에 관한 연구는 주로 실험실(Mock-up) 실험이나 CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 통하여 하이브리드 환기방식의 적용 타당성 및 성능예측 평가를 위한 연구,<sup>(3-5)</sup> 하이브리드 환기시스템이 적용시의 실내 공기질과 열환경 및 에너지성능을 평가한 연구<sup>(6-7)</sup> 등이 시행되었으며 연구대상 또한 중형이상의 공동주택이 대부분이다. 이에 본 연구에서는 소형공동주택 현장에 하이브리드 환기시스템을 설치하고 환기성능을 평가하여 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

## 2. 공동주택의 하이브리드 환기시스템

공동주택의 환기시스템은 크게 동력원에 따라 자연환기(natural ventilation), 기계환기(mechanical ventilation), 하이브리드 환기(hybrid ventila-

tion)로 구분된다. 자연환기는 건물 내외의 압력차, 바람, 실내외 온도차 등의 의해 환기가 이루어지기 때문에 동력의 소모가 없다. 그러나 주변 환경 및 외부 기상상태 등 다양한 환경요소의 영향을 받아 일정한 환기량을 지속적으로 확보하기 어렵다. 기계환기는 송풍기나 환풍기를 사용하여 각 실의 필요한 공기를 안정적으로 공급하며, 덕트 시공의 경우 각 실에 필요한 환기량을 적절하게 계획하여 공급할 수 있다.

하이브리드 환기는 자연 및 기계환기 설비를 적절히 조화시킨 환기시스템을 의미하는 것으로, 자연 및 기계환기 양자의 장점을 선택적으로 이용하는 것을 목적으로 한다. 자연환기의 구동력을 적극 이용하여, 기계환기설비(팬) 용량이나 가동시간을 경감시켜줌으로써 필요한 환기량을 경제적으로 확보하는 것이 하이브리드 환기시스템의 특징이다.<sup>(8)</sup>

## 3. 실험개요

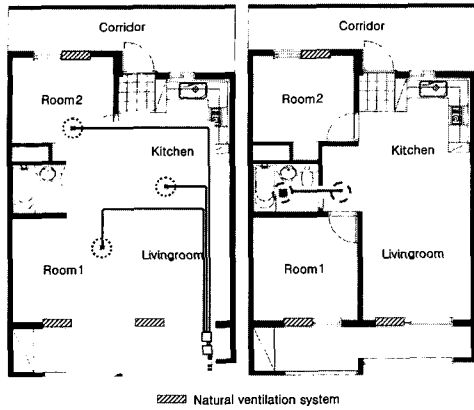
### 3.1 실험대상 및 테스트 환기시스템

Table 1은 실험세대조건을 나타내고 있다. 실험 대상은 강원도에 위치하였으며 세대면적은 51 m<sup>2</sup>로 2006년 11월 완공된 공동주택으로서 최고층이 15층이다. 실험은 2007년 동절기 12월에서 1월 사이에 이루어 졌으며, 대상세대로는 중층의 중간세대를 사용하였다.

그 이유로는 고층, 저층에서 발생 가능한 연돌 효과의 영향을 최소화하기 위하여 중간층인 9층에서 실험이 이루어졌다. 그리고 6세대가 한 층으로 이루어진 복도세대로서 측벽 세대가 중간세대보다 실외온도의 영향을 많이 받을 수 있기 때문에 중간세대를 사용하였다.

Table 1 Test unit

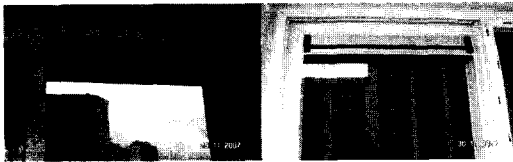
Period	2007. 12~2008. 1	
Unit	51 m <sup>2</sup> , 9th floor, Plan with hallway	
Ventilation system	Supply	Exhaust
	Natural ventilation system	Duct type
	Natural ventilation system	Toilet type (Static pressure fan)



(a) Hybrid 1 (b) Hybrid 2  
Fig. 1 A plan of test apartment.



Fig. 2 Test apartment.



(a) Natural ventilation system



(b) Hybrid ventilation system 1



(c) Hybrid ventilation system 2

Fig. 3 Test ventilation system.

실험 환기시스템은 창틀 설치형 자연환기장치와 각실 덕트배기로 이루어진 하이브리드 환기시스템(이하, 하이브리드 1)과 창틀 설치형 자연환기장치와 화장실 배기팬과 연동시켜 고정압팬을 이용한 거실 및 화장실 배기로 이루어진 하이브리드 환기시스템(이하, 하이브리드 2)을 동일 세대에 설치하였다. Fig. 1은 환기장치가 설치된 시험세대 평면을 보여주고 있다.

Fig. 3은 환기시스템 설치모습을 나타내고 있다. Fig. 3(a)는 창틀 설치형 자연환기 장치를 보여주고 있으며, 장치는 레버로 개폐가 가능하고 각 실 창틀 상부에 설치하였다. Fig. 3(b)와 (c)는 각각 하이브리드 1, 하이브리드 2의 배기구 및 배기장치를 나타내고 있다. 각 환기시스템별 배기풍량은 실험세대의 내부 체적을 계산하여 0.7 회/h를 만족하는 82 CMH 이상으로 설정을 하였으며, 하이브리드 1의 덕트 배기의 경우 각 실(거실, 방 1, 방 2)에 배기구를 설치하였으며, 각각의 배기구를 통해 30 CMH씩 총 90 CMH가 배출되게 설정하였다. 풍량은 열선풍속계(TSI)와 바람개비형 풍속계(TSI)를 이용하였다. 하이브리드 2의 경우 화장실 배기팬과 연동한 환기시스템으로, 고정압팬으로부터 덕트를 연장하여 거실로 배기구를 만들어 화장실과 거실 두 곳에서 배기가 이루어지도록 하였다. 화장실 배기 시 연결된 공동구에서는 정압발생으로 인해 일정한 배기량이 유지될 수 없기 때문에 고정압팬을 사용하였다. 화장실의 배기량은 55 CMH이며, 거실 배기량은 28 CMH로서 총 83 CMH가 배기되는 시스템으로 설치하였다. 또한 덕트 중간에 댐퍼를 설치하여 미작동 시 기류가 역류되는 현상을 제거하였다.

### 3.2 실험방법

하이브리드 환기시스템별 환기성능 비교를 위하여 실험세대의 침기량을 측정하여 세대내 기밀상태를 확인한 후, 각 환기시스템별 가동상태에서 환기량을 측정하였다. 자연환기장치가 설치된 환기시스템의 특성상 외부환경에 의해 환기량이 영향을 받게 되므로 반복실험을 통해 침기량에 대한 재현성 실험을 실시하였다. 또한 환기장치 시공으로 인한 세대내 기밀도 유지 상태를 점검하기 위하여 환기장치가 없는 동일층의 일반세대의 침기량을 측정하고 그 값을 비교하여 시스템 설

치 전후의 기밀도를 비교하였다.

실험세대의 침기량 및 환기량 측정은 KS 규격 (KS F 2603)인 ‘옥내 환기량 측정방법(이산화탄소법)’의 농도감쇠법에 의거하여 측정하였다.

건물내 환기량을 측정하는 방법으로는 추적가스법, 블로어도어법, 배기시스템의 덕트내 풍속을 측정하여 산정하는 방법이 있다. 또한 추적가스법에는 가스 주입방법과 샘플방법에 따라 농도감쇠법, 정량주입법, 일정농도법이 있다. 본 연구에서는 추적가스법의 농도감쇠법을 이용하였다.

농도감쇠법은 추적가스를 일정농도로 유지하면

서 방출시키다가 방출을 멈춘 뒤 시간경과에 따른 추적가스의 농도 변화를 측정하여 시간당 환기율을 계산하는 방법이다. 추적가스는 이산화탄소를 사용하였으며, 추적가스 측정은 멀티가스모니터(Innova사)를 사용하였다. 추적가스 방출시 각 실마다 팬을 사용하여 실내 공기를 희석시켜 실 전체 농도분포가 균일하게 하였으며, 감쇠되는 시점의 최초 농도가 실별로 동일해져 농도분포가 균일한 것을 확인한 후 방출을 멈추었다.

Fig. 4는 측정 장면 및 환기량 측정장비를 나타내고 있다. 환기량의 계산법(Seidel)은 다음과 같다.<sup>(9)</sup>

$$Q(m^3/h) = 2.303 \frac{V}{t} \log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C_t - C_0} \quad (1)$$

#### 4. 실험결과

##### 4.1 실험세대 침기량 측정 결과

Table 2는 실험대상 세대의 침기량 측정 결과를 나타낸다. 환기시스템을 가동하지 않은 상태에서 각 실의 방문은 모두 개방하고 실별 1.2~1.3m 높이의 실 중앙지점에서 측정한 결과로 약 1CMH 이하의 차이를 보이고 있다. 침기량을 환기횟수로 환산하면 평균 0.10~0.08회/h의 결과를 나타내었다. 환기장치 시공이 이루어진 실험세대와 일반 세대의 기밀상태 차이가 약 0.02회/h 이하로 측정되어 시공도가 매우 좋은 것으로 판단되었다. 침기량 측정 결과는 실내외 온도차가 큰 동절기 실험이었음에도 불구하고 평균 0.1회/h 이하의 결과가 나타나 실험세대의 기밀성능이 우수하며, 하이브리드 환기시스템의 시공으로 인해 기밀성이 저하되지 않는 것으로 나타났다.

##### 4.2 환기시스템별 환기성능 측정 결과

###### 4.2.1 환기량 측정결과

Table 3은 환기시스템별 가동 시 환기량 측정 결과를 나타낸다. 각 시스템별 환기량 측정 시, 환기장치를 하루 전부터 가동을 시켜 실내의 기류를 안정화시킨 후 환기량을 측정하였으며, 시스템별 환기량 측정은 2회 이상 실시하고, 측정 결과는 평균값으로 나타내었다. 각 시스템별 환기

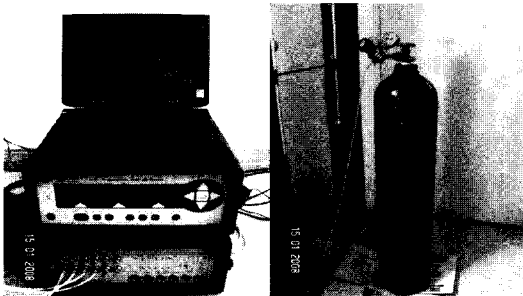


Fig. 4 Multi gas monitor and tracer gas.

Table 2 Result of infiltration

Results		Air change rate (ACH)	Mean
Sampling place			
Hybrid 1	Living room	0.10	0.10
	Room 1	0.11	
	Room 2	0.10	
Hybrid 2	Living room	0.08	0.08
	Room 1	0.08	
	Room 2	0.08	

Table 3. Air exchange rate of test system

Results		Air change rate (CMH)	Mean
Sampling place			
Hybrid 1	Living room	62.34	62.89
	Room 1	64.67	
	Room 2	61.65	
Hybrid 2	Living room	69.70	70.10
	Room 1	71.24	
	Room 2	69.35	

량 측정결과를 살펴보면 하이브리드 1은 평균 63 CMH, 하이브리드 2는 평균 70 CMH로 나타나 하이브리드 2의 환기량이 더 많은 것으로 나타났다.

4.2.2 환기효율 측정결과

본 연구에서 환기량 측정결과를 환기시스템별 환기효율을 통해 평가하고자 한다. 환기효율은 실내의 체적만큼 공기를 공급하는데 걸리는 시간인 명목시간상수와 실내 공기의 평균적인 체류시간인 실내평균 공기연령의 비로서 식(3)으로 정의된 명목시간상수를 구하고, 식(2)로 계산할 수 있다.<sup>(10)</sup> 본 연구에서는 실내 평균공기연령 값으로 거실, 방 1, 방 2의 실 중앙지점에서 측정된 3개의 국소평균공기연령 측정값을 평균하여 사용하였다. 각 실 방문을 모두 열어놓은 상태에서 실 전체를 대상으로 환기량을 측정하기 때문에 3지점의 측정값이 세대 환기량을 대표하는 값으로 가정하여 산정하였다.

$$\epsilon = \frac{\tau_n}{\tau_e} \cdot 100 \tag{2}$$

$$\tau_n = \frac{V}{q_v} \tag{3}$$

$$\tau_p = \frac{\int_0^\infty C_p(t)dt}{C_p(0)} \tag{4}$$

하이브리드 환기시스템 가동 시 환기량 측정 결과를 통하여 산출해낸 공기연령과 환기효율은 각각 Table 4, Table 5에 나타난다. 결과를 살펴보면, 하이브리드 1은 평균 공기연령이 1.47~1.55 시간으로 측정되어 실평균 1.52시간으로 나타났으며 환기효율은 80~84%로 측정되어 실평균 81%로 나타났다. 하이브리드 2는 평균 공기연령이 1.39~1.45시간으로 측정되어 실평균 1.42시간으로 나타났으며 환기효율은 93~96%로 측정되어 실평균 94%로 나타났다.

환기효율 측정결과를 비교해보면, 하이브리드 1보다 하이브리드 2의 평균공기연령이 짧고, 환기효율 또한 좋은 것으로 나타났다. 하이브리드 1의 경우 각 실에서 배기가 이루어지고 있으나 급기구와 배기구가 가까이 설치된 경우 외기가 유입되면서 일부가 바로 배출구로 빠져나가는 유동(short cut)이 발생하여 효율이 하이브리드 2보다

좋지 않은 것으로 판단된다. 환기경로가 너무 짧을 경우는 이 부분의 국부공기연령은 짧지만 급기구와 배기구에서 거리가 먼 곳은 환기가 되지 않는 영역이 나타나 국부공기연령의 차가 많이 발생되어 방이나 실 전체의 평균적 측면에서의 평균공기연령은 길어져 전체적으로 환기효율은 나빠지는 문제점이 있다. 이와 같은 부분은 겨울철의 경우 유입된 차가운 외부 공기가 실내 공기와 잘 섞이지 않아 급기구에서 배기구까지 온도구배가 크게 생길 수 있다. 또한 급기구 근처에 심한 콜드 드래프트(cold draft)가 생겨 재실자들이 열적 만족감을 느낄 수 없을 가능성이 있다. 그리고 두 개의 방에 비해 비교적 면적이 넓은 거실의 경우 한 개의 배기구를 통해 거실 및 주방까지 환기가 이루어져야 하므로 급기구가 설치되지 않은 주방의 경우 공기의 정체가 생길 가능성이 높다.

하이브리드 2의 경우, 화장실에서 55 CMH, 화장실 입구에서 28 CMH로 두 개의 배기구에서 총 83 CMH를 배기하므로 세대 장단변의 길이가 짧은 실험세대와 같은 소형공동주택 구조에서는 실 중앙의 위치에서 많은 용량의 집중배기가 되므로

Table 4 Mean age of air of the ventilation systems

Sampling place		Results	
		Mean age of air[h]	
Hybrid 1	Living room	1.54	1.52 (Mean)
	Room 1	1.47	
	Room 2	1.55	
Hybrid 2	Living room	1.43	1.42 (Mean)
	Room 1	1.39	
	Room 2	1.45	

Table 5 Ventilation effectiveness of the ventilation systems

Sampling place		Results	
		Ventilation Effectiveness[%]	
Hybrid 1	Living room	80	81 (Mean)
	Room 1	84	
	Room 2	80	
Hybrid 2	Living room	93	94 (Mean)
	Room 1	96	
	Room 2	93	

창틀 자연환기장치로부터 실증상의 배기구까지 기류유동이 형성됨으로서 세대 전체의 환기가 잘 이루어진 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 소형 공동주택에 적용 가능한 하이브리드 환기시스템에 대한 환기성능을 실험하여 적용가능성을 검토하였다. 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 실험세대의 침기량은 평균 0.10~0.08 회/h의 결과로 나타나 실험세대의 기밀성능이 우수하며, 환기장치 설치로 인하여 기밀성이 저하되지 않는 것으로 나타났다.

(2) 하이브리드 1과 하이브리드 2의 급기 풍량은 각각 90 CMH, 83 CMH이며, 이때 환기시스템별 환기량 결과는 하이브리드 1은 평균 63 CMH, 하이브리드 2는 평균 70 CMH로 하이브리드 2의 환기량이 더 많은 것으로 나타났다.

(3) 환기시스템별 평균공기연령과 환기량 결과는 하이브리드 1은 공기연령이 실평균 1.52시간, 환기효율은 실평균 81%로 나타났고, 하이브리드 2는 공기연령이 실평균 1.42시간, 환기효율은 실평균 94%로 나타나 하이브리드 2의 평균공기연령이 짧고, 환기효율도 좋은 것으로 나타났다.

(4) 하이브리드 1의 경우 환기효율이 평균 81%로 측정되었으며 각 실에서 배기가 이루어지긴 하나, 각 실 급기에서부터 배기로의 환기경로가 짧아 급·배기구에서 거리가 먼 곳은 환기가 이루어지지 않는 영역이 발생하여 부분적으로 국부 공기연령이 차이가 생길 것으로 판단된다.

(5) 하이브리드 2의 경우 화장실 고정압팬을 이용하여 중앙에 위치해 있는 화장실과 화장실 입구의 거실부분에서 배기되는 시스템으로 각 실 배기가 되는 하이브리드 1에 비해 전체 실의 중간 위치인 화장실과 화장실 앞의 거실쪽 배기만으로 94% 이상의 환기효율 결과를 나타내었다.

이와 같은 환기특성은 본 연구의 대상 실험세대와 같이 면적이 작고 세대 장단변비가 짧으며 단순한 평면을 가진 소형 공동주택의 경우에 나타나는 특징으로 판단되며 향후 하이브리드 환기시스템의 환기구의 위치 및 개수 조절을 통한 환기효율을 높일 수 있는 방안에 대한 지속적인 연

구가 필요할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 2006, The rule for a criterion of building facilities, MOCT.
2. Won, J. S., et al, 2007, An evaluation of performance of hybrid ventilation system using the balcony space in apartment housing, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 23, No. 5, pp. 187-194.
3. Kim, O., et al, 2007, A study on the performance of hybrid ventilation system in high-rise apartment houses, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 113-118.
4. Yi, S. H., 2006, A study of hybrid ventilation system applying to an apartment house, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 1137-1143.
5. Hwang, J. H., et al, 2006, A prediction of hybrid ventilation system performance in apartment house, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 7, pp. 541-548.
6. Kim, S. J., et al, 2006, Analysis of indoor air and thermal environment with hybrid ventilation system during summer, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 387-392.
7. Nam, J. W., et al, 2006, The analysis of energy performance of the hybrid ventilation system in multi-unit residential building, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 481-486.
8. 2006, Interpretation for standard of the ventilation facilities in the apartment and buildings for a crowd, MOCT.
9. 1991, KS F 2603, The method to measure indoor ventilation, Korean Industrial Standard.
10. 1991, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE Standard.