

# 다기능온돌시스템을 이용한 자연환기성능 평가

조 동 우, 유 기 형, 유 정 연<sup>†</sup>, 정 해 권

한국건설기술연구원 건축·도시환경 연구실

## Evaluation of Natural Ventilation Performance using the Multi-Functional Floor Heating System

Dong-Woo Cho, Ki-Hyung Yu, Jung-Yeon Yu<sup>†</sup>, Hae-Kwon Jung

Division of Building & Urban Environment Research, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

**ABSTRACT:** Recently developed raised floor heating system is not only capable of basic function to reduce noise between floors, but also is a multi-functional floor heating system enabling natural ventilation. The procedure of this system for natural ventilation is to import outdoor air through bottom space of the floor heating system, circulate indoor space and discharge it out of ceiling. In winter, powerless natural ventilation is possible with buoyancy effect caused by temperature difference between outdoor and indoor. And it also allows saving of energy by importing pre-heated air in bottom space of the floor heating system. To evaluate ventilation performance of this system, on-site measurement was conducted in 2 test laboratories, and the nominal air change rate was satisfied as 0.4~0.8 h<sup>-1</sup> under the condition of outdoor temperature 5°C~-5°C, which was evaluated as highly possible to be applied as a natural ventilation system in multi-family houses.

**Key words:** apartment houses(공동주택), floor heating(바닥난방), the upper & lower side ondol system(윗목/아랫목 온돌 시스템), field measurement(현장 측정)

### 기 호 설 명

- $A_i$  : 위치 i에서의 공기 체류 시간 [min]
- $t_{stop}$  : 최종추적가스 측정시간 [min]
- $t_{start}$  : 외기 유입 또는 추적가스주입 중단으로 추적가스 농도 감소 시작 시간 [min]
- $C_o$  : 추적가스의 초기 농도 [ppm]
- $C_i$  : 위치 i에서의 추적가스 농도 [ppm]
- $C_{i,avg}$  : 위치 i에서  $t_{start}$ 와  $t_{stop}$  사이의 가중평균 농도 [ppm]
- $Q_{ex,m}$ : 배기구 m에서의 공기 유동량 [m<sup>3</sup>/h]
- $A_{ex,m}$ : 배기구 m에서의 공기 체류시간 [h]
- $A_{avg}$ : 실험실 내 재실자의 호흡역 부근에서 측정된 공기 체류 시간 [h]

### 그리스 문자

- $\tau_n$  : 명목시간상수 [h]

### 하첨자

- m : 각각의 배기구를 지정하는 숫자

### 1. 서 론

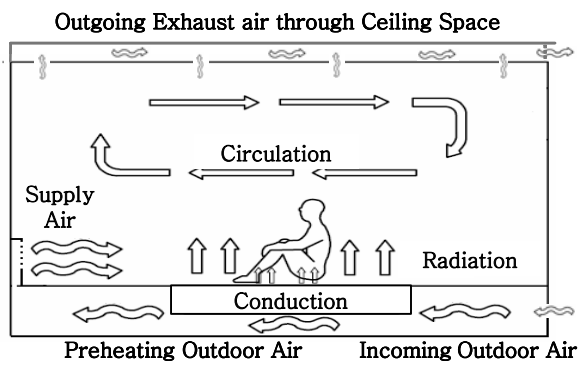
한국에서는 모든 주거용 건물의 실내온열환경을 위해 바닥난방시스템을 채택하고 있다. 또한 전체 주거건물 중 공동주택의 거주비율이 50%를 넘고 있다. 최근 공동주택의 층간소음 문제 및 실내 공기질 오염 문제가 사회적인 이슈로 심각하게 대두되면서 층간소음 차단성능 및 환기성능이 법제화 되었다. 이를 위해 개발된 시스템중의 하나가 다기능온돌시스템이다. 다기능온돌시스템은 시스템 하부에 공간을 두고 층간소음 차단기

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0326; fax: +82-31-910-0361

E-mail address: jyju@kict.re.kr

능을 갖추고 있다. 이 시스템은 기본적으로 실내 난방 기능을 갖고 있을 뿐만 아니라 하부공간을 이용하여 자연환기를 가능케 하는 바닥 난방 시스템이다. 본 연구에서는 시스템이 적용된 1곳의 실물실험실과 1곳의 실험주택을 대상으로 본 시스템의 자연환기성과 기계환기성을 비교·평가하여 이중바닥온돌시스템을 이용한 자연환기방식의 적용가능성을 검토하였다.



(a) Concept for air flow



(b) Air flow into the bottom space of the multi-functional floor heating system

Fig. 1 Conceptual diagram for natural ventilation of the multi-functional floor heating system

## 2. 다기능온돌시스템의 개요

다기능 온돌시스템은 기본적으로 층간소음 차단을 위해 개발된 시스템으로 기존의 온돌시스템과는 달리 액세스플로어(access floor)와 같은 뜬바닥구조 형태로 온돌구조가 구성되어 있다.

Fig. 1은 다기능온돌시스템의 개념을 나타낸 것이다. 뜬바닥구조에 의해 형성된 온돌 하부공간에 대하여 외부공기를 유도하기 위한 환기통로로 본 시스템을 이용하는 것이다. 동계에 실내외 온도차에 의한 부력현상을 이용하여 무동력 자연환기를 가능케 하는 시스템으로 개발이 되었으며 중간기 및 하계의 실내환기를 위하여 강제배기 및 강제급배기 또한 가능하도록 설계 되었다.

### 2.1 자연환기 모드

본 다기능 온돌시스템은 동계 실내외 온도차로 인해 발생하는 부력효과로 자연환기가 이루어지는 방식으로 별도의 동력을 요하지 않는 환기시스템이다. 본 환기 시스템은 Fig. 1의 (a)와 같이 다기능 온돌 시스템이 난방을 위해 가열되어 온돌 하부공간과 외기간의 온도차가 크게 발생하게 된다. 그로인해 발생한 부력으로 온돌 하부공간에서는 외부에서 내부 방향으로, 실내공간에서는 내부에서 외부의 방향으로 압력차가 형성된다. 이러한 압력차로 인해 시스템의 하부 공간에서는 외기가 유입되고 그 공기는 실내 급기 그릴을 통해 실내공간으로 공급되어 환기가 이루어진 후, 천장으로 배기그릴을 통해 외부로 빠져나가는 것이다.

Fig. 1의 (b)는 실제 공간에 적용되는 예를 나타낸 것으로 1차적으로 실내외 온도차에 의해 차가운 외기가 외기도입부를 통해 20mm 높이의 다기능 온돌 시스템 하부 공간으로 유입된다. 이렇게 유입된 신선 외기는 다기능 온돌 시스템 하부 공간에서 난방배관을 통해 열을 공급받아 가열된 후 급기그릴을 통해 실내로 유입된다. 실내 급기그릴을 통해 유입된 공기는 실내 공간에서 실내 공기를 환기 시킨 후 천장의 배기그릴로 빠져나가 천장배기관을 지나고 외부 배출구로 빠져나가게 된다. 이때, 공기를 유동시키는 원동력은 실내공기온도와 외기온도, 그리고 다기능 온돌 시스템 하부 공간에서 가열된 공기의 온도차로 인해 발생한 압력차에 의해 형성된다. 따라서 별도의 동력을 요하지 않고 구동되는 에너지 절약형 환기 시스템인 것이다. 또한 Fig. 1의 (b)와 같이 외기가 다기능 온돌 시스템 하부 공간의 잉여열을 통해 실온보다 높은 온도로 가열된 후 실내로 도입되므로 외기를 직접 도입할 경우 발생할 수 있는 냉감(cold draft)현상을 막을 수 있다.

### 2.2 배기 팬 모드

본 시스템의 배기팬 모드는 외기가 다기능 온돌시스템 하부 공간을 지나 실내 급기그릴을 통해 실내로 유입되는 경로는 자연환기 모드와 동일하나 Fig. 2에서와 같이 천장의 배기 그릴 후 반부에 설치된 팬을 가동시켜 강제 배기를 하는 것이다. 배기팬 모드는 봄 가을철 실내외 온도차가 크지 않고 바닥 난방이 이루어지지 않는 기간

동안에 환기가 이루어지도록 하기 위한 방식이다.

### 2.3 급배기 팬 모드

본 시스템의 급배기팬 모드는 Fig. 2에서 발코니 부분에 설치된 전열교환기를 이용하여 강제급배기를 하는 방식이다. 동계에 전열교환기능을 이용하여 배기열을 회수하고 급기온도를 일정부분 상승시킴으로써 에너지 손실의 일부를 절감할 수 있는 장점이 있다.

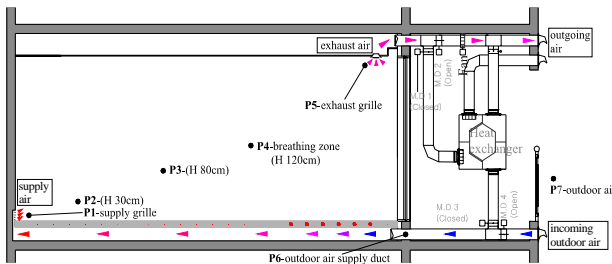


Fig. 2 the positions of CO<sub>2</sub> gas sampler measurement and air velocity and temperature measurement

## 3. 환기 성능 평가 실험

### 3.1 환기 성능 평가 실험 개요

본 시스템의 환기 성능은 1곳의 실물실험실과 1곳의 실험주택에서의 동계 실험을 통해 평가 되었다. 실험은 추적가스 농도감소법을 통한 시스템의 환기 성능 평가 실험으로 주요 지점에서의 추적가스(CO<sub>2</sub>)가스 농도를 측정하여 위치별 공기 체류 시간(A<sub>i</sub>) 및 환기효율(E<sub>i</sub>)을 산출하였다. 또한, 명목시간상수(τ<sub>n</sub>)를 통해 환기횟수(I<sub>n</sub>)가 산출되었으며 해당 지표를 통해 본 시스템의 환기 성능이 평가되었다.

추적가스 실험은 Fig. 2 및 Table 1과 같이 각 실험실별로 실내급기그릴, 배기그릴, 재실자의 호흡역 부근, 그리고 급기 그릴과 재실자 호흡역 부근 사이의 2곳에 대하여 추적 가스인 CO<sub>2</sub>의 농도가 가스 샘플러로 측정되었다. 또한, Table 2에서와 같이 실내급기그릴, 배기그릴, 재실자의 호흡역 부근, 외기유입덕트 부근 및 외기의 기류 속도와 온도가 측정되어 환기 성능 평가를 위해 기초 데이터로 활용 되었다.

실물실험실의 환기 성능 평가 실험은 Fig. 3의 (c)와 같이 공동주택의 거실규모의 실물실험실에서 수행되었다. 실험실은 면적 23m<sup>2</sup>, 천장고 2.3m의 공간으로 구성되어 있으며 분합문측에 발코니

Table 1 Measurement position of sampler

No.	Position of sampler
P1	supply grille
P2	30cm height from the floor
P3	80cm height from the floor
P4	120cm height from the floor (breathing zone)
P5	exhaust grille

Table 2 Measurement position of air velocity and temperature

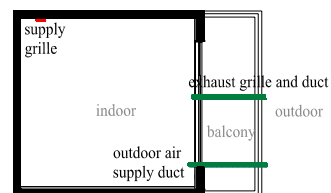
No.	Measurement position
P1	supply grille
P4	120cm height from the floor (breathing zone)
P5	exhaust grille
P6	outdoor air incoming duct
P7	outdoor air



(a) Indoor air supply grille



(b) Air incoming part and exhaust grille



(c) Floor plan

Fig. 3. Test in the mock-up room

공간으로 구획되어 있다. 이와 같은 실내공간에 다기능온돌시스템을 설치하고 발코니 공간 하부에 외기유입통로를 만들어 다기능온돌시스템의 하부공간으로 외기가 유입될 수 있도록 하였다. 실내공간에는 실내측의 하부 바닥면 부근에 1개의 실내급기그릴(Fig. 3의 (a))과 천장부위에 1개의 배기그릴(Fig. 3의 (b))을 설치하여 환기가 이루어지도록 하였다. 또한, 발코니 측에 배기 팬 및 전열교환기가 설치되어 배기 팬 모드 및 급배기 팬 모드 실험시 각각 적용되었다.

실험주택의 환기 성능 평가 실험은 Fig. 4와 같이 공동주택을 그대로 구현한 실험주택의 거실 및 주방 공간에서 수행되었다. 실험주택의 측정대상공간은 면적 32m<sup>2</sup>, 천장고 2.3m으로 이루어져 있으며 실내 공간의 중심부에서 하부 바닥면 부근에 2개의 실내급기그릴(Fig. 4의 (a))이 설치되어 있다. 실내의 전면 발코니 측에서, 바닥의 하부 공간에는 외기가 유입될 수 있는 통로가 설치되어 있다(Fig. 4의 (b)). 또한 전면발코니에 강제배기를 위해 배기용 팬이 설치되어 있고 배기 모드 실험시 적용되었다. 후면 발코니 측에도 천장부위에 1개의 배기그릴이 설치되어 있고, 다기능온돌시스템 하부 공간으로 외기가 유입될 수 있도록 외기유입통로가 설치(Fig. 4의 (c))되어 있으며 실의 후면발코니에 전열교환기가 설치되어 있어 강제 급배기가 가능하며 급배기 팬 모드 시 적용되었다.

### 3.2 공기 체류 시간(Age of air)과 환기효율(air change effectiveness) 및 환기횟수(air change rate) 분석

건물내의 환기 시스템을 평가하는 데는 공기 체류 시간(age of air) 및 환기효율(air change effectiveness)이 사용되고 있다. 공기 체류 시간은 외부의 공기가 실내에 들어와서 건물내 존 또는 공간내에 머무는 시간의 길이로 정의된다(1). 존의 평균 공기 체류 시간은 추적가스(trace gas) 농도 측정에 의해 산출될 수 있다. 환기효율(E)은 신선한 외기를 건물, 존 또는 공간으로 전달되는 효율로 정의되며, 국부환기효율(local air change effectiveness, E<sub>i</sub>)은 외부공기가 공간내 특정지점으로 전달되는 효율로서 정의된다. 공기 체류 시간 및 환기효율을 측정하는 방법으로는 일정농도유지법, 일정농도방출법, 농도감소법 등



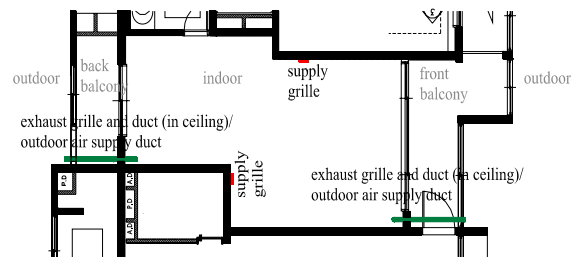
(a) Indoor air supply grille



(b) Outdoor air incoming part and exhaust grille on front side



(c) Outdoor air incoming part and exhaust grille on back side



(d) Floor plan

Fig. 4. Experimental House

이 있으며 최근 추적가스 모니터링 시스템을 이용한 추적가스 농도감소법이 측정의 정밀도가 높아 공기 체류 시간을 결정하는 가장 일반적인 방법으로 사용되고 있다(2). 농도감소법 실험에서 테스트되는 공간은 시간 t=0에서 동일한 추적가스 농도 C<sub>0</sub>를 유지하는 것으로 가정한다. 공간내 추적가스 농도는 외기의 농도 쪽으로 감소되며 공

간내 특정 지역의 환기회수에 따라 추적가스의 농도는 0으로 수렴한다. 공간내 지점 i 에서의 공기 체류 시간( $A_i$ )를 계산하는 식은 다음 식(1)과 같다.

$$A_i = (1/C_o) \int_0^{\infty} C_i \delta t \quad (1)$$

ASHRAE Standard 129-1997<sup>(3)</sup>에서는 추적가스 농도 감소법에 의한 공기체류 시간을 다음 식(2)로 계산한다. 단, CO<sub>2</sub> 가스가 추적가스로 사용되었을 경우 추적가스농도( $C_i$ ) 계산할 때 주변 외기의 농도를 측정 농도에서 빼준다<sup>(4)</sup>.

$$A_i = (t_{stop} - t_{start}) C_{i,avg} / C_i(t_{start}) \quad (2)$$

$$C_{i,avg} = \frac{\sum_{n=first}^{n=last-1} [(C_{i,n} + C_{i,n+1}) (t_{n+1} - t_n)]}{(t_{last} - t_{first})}$$

여기에서,

환기성능을 평가하는 지표인 명목환기횟수(the nominal air-change rate,  $I_n$ )는 명목시간상수(the nominal time constant)의 역수로 산출되는데, 명목시간상수( $\tau_n$ )는 외부 공기가 해당 존 또는 공간에 머무르는 시간을 대표하는 값으로 식(3)과 같으며 외부 공기에서 유입된 공기가 최종적으로 빠져나가는 배기구에서의 총 배기량과 공기체류 시간을 통하여 산출되며 환기효율(E)은 다음 식(4)로부터 계산된다.

$$\tau_n = \frac{\sum_m (Q_{ex,m} A_{ex,m})}{\sum_m Q_{ex,m}} \quad (3), \quad E = \tau_n / A_{avg} \quad (4)$$

#### 4. 실험 결과 및 평가

##### 4.1 실물실험실에서의 실험 결과

실물실험실에서의 환기성능 평가 실험은 2회의 자연환기 모드와 배기팬 모드 그리고 급배기팬 모드로 구성되었으며 실험 결과는 Table 3~5 및 Fig. 5~7과 같다.

Table 3에서 1차 자연환기 모드 실험에서 실온은 평균 22.6℃, 외기온도는 평균 4.3℃로 실내외 온도차 18.8K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 35.5m<sup>3</sup>/h로 공급되었으며 이때, 급기의 온도는 평균 28.1℃로 실온보다 약 6K, 외기보다는 약 24K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다.

Table 3과 Fig. 5는 2차 자연환기 모드 실험시 주요지점의 기류 온도 및 기류 속도 분포를 나타낸 것이다. 자연환기가 이루어지고 있는 본 실물 실험실의 실내온도는 평균 22.8℃, 외기온도는 평균 -4.7℃로 실내외 온도차가 27.5K 발생하였으며 이때, 발코니 측 하부로 -4.6℃의 외기가 유입되었다. 유입된 외기가 다기능 온돌 시스템 하부 도입부에 도달하였을 때 기류의 온도는 -2.6℃로 외기보다 약 2K 가량 상승하였고 이때 유입속도는 0.63m/s였다. 기류는 온돌 시스템 하부 공간을 지나면서 난방 배관으로부터 열을 공급받아 빠르게 온도가 상승하여 다기능온돌시스템의 외측 하부 공간에 도달하였을 때는 기류 온도가 22.7℃까지 상승하였다.

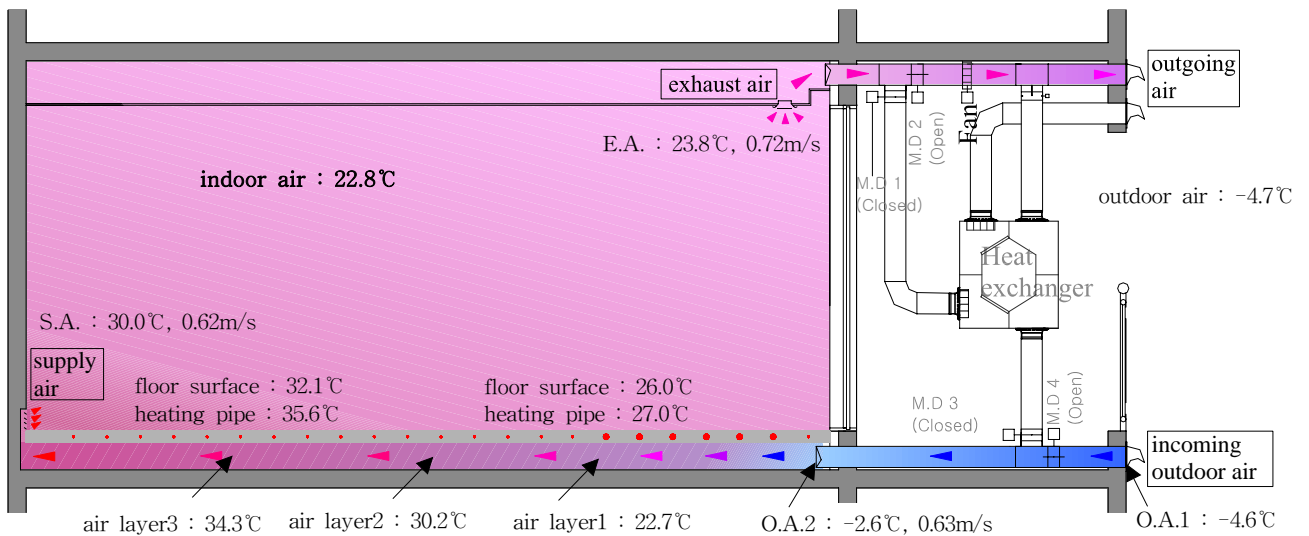


Fig. 5. the raised floor heating system with various ventilation conditions

그리고 시스템의 내측 하부 공간에 도달하자 기류 온도가 최고 34.3℃까지 상승하였다. 이렇게 본 시스템의 하부공간에서 가열된 공기는 실내 급기 그릴을 통해 실내로 공급되었으며 이때 급기 온도는 30.0℃로 실온보다 약 7K 가량 높고 외기보다 약 35K가량 높은 온도로 실내로 공급되었다. 이때, 급기 속도는 0.60m/s였으며 급기량은 평균 49.2m<sup>3</sup>/h였다. 실내로 급기된 따뜻한 공기는 실내를 환기시키고 천장 부근의 배기그릴을 통해 외부로 빠져나갔으며 이때, 배기 온도는 23.8℃, 속도는 0.72m/s로 실내 온도보다 1.0K 높은 온도로 배출되었다. 본 실험시 급기 급기그릴에서의 풍량(Fig. 6의 (b)) 및 CO<sub>2</sub> 농도(Fig. 7의 (b))의 변화폭이 다소 크게 나타나는데 이것은 외기도입부 및 배출구가 위치한 북서쪽에서 외기 풍속의 증가(Table 3)가 그 원인인 것으로 분석되었다.

배기팬 모드 실험에서 실온은 약 22.5℃, 외기 온도는 평균 8.5℃로 실내외 온도차 14.0K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 41.3m<sup>3</sup>/h로 1차 자연환기시와 유사한 풍량으로 공급되었다. 이때, 급기 온도는 평균 29.2℃로 실온보다 약 7K, 외기보다는 약 21K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다.

급배기팬 모드 실험에서 실온은 약 22.9℃, 외기 온도는 평균 -4.4℃로 실내외 온도차 27.3K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 91.5m<sup>3</sup>/h로 공급되었으며 이때, 급기 온도는 평균 31.9℃로 실온보다 약 9K, 외기보다는 약 36K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다. 또한 Fig. 6에서와 같이 모든 경우에 있어서 급기그릴의 풍량이 실내온도와 유사한 패턴으로 변동되는 것을 알 수 있었는데, 이는 다기능 온돌 시스템 하부의 공기 온도가 난방의 가동패턴에 따라 변동하기 때문이다. 난방 가동시 온수 공급에 의해 다기능 온돌시스템 하부의 공기가 가열되게 되면 실내공기와 온도차에 의해 압력차가 발생하여 급기그릴의 풍량이 증가하게 되고, 난방 정지시 다기능 온돌 시스템하부의 온도가 낮아지게 되면 동일하게 급기그릴의 풍량도 줄어들게 되는 것이다.

실물실험실에서의 추적 가스 실험 결과는 Fig. 7과 같으며 각 경우의 실내 환기효율 및 위치별 공기 체류 시간은 Table 4와 같다.

Table 3 The result of ventilation experiments

		Natural ventilation 1	Natural ventilation 2	Exhaust fan	Supply & exhaust fan
Outdoor air	Temperature (°C)	4.3	-4.7	8.5	-4.4
	Air velocity (m/s)	1	4.4	0.7	2.1
	Air direction	SW	NW	SW	W
Indoor air temperature(°C)		22.6	22.8	22.5	22.9
ΔT between indoor/outdoor(K)		18.8	27.5	14.1	27.3
Supply Airflow rate (m <sup>3</sup> /h)		35.5	49.2	41.3	91.5
Supply Air velocity(m/s)		0.45	0.62	0.52	1.16
Supply Air Temperature(°C)		28.1	30.0	29.2	31.9

Table 4 The result of tracer gas test

	Natural ventilation 1		Natural ventilation 2		Exhaust fan		Supply & exhaust fan	
	Ai (min)	Ei	Ai (min)	Ei	Ai (min)	Ei	Ai (min)	Ei
P1	128.7	1.11	43.0	1.76	14.8	2.44	5.3	6.22
P2	146.5	0.98	72.1	1.06	39.3	0.94	36.0	0.93
P3	146.5	0.98	75.9	1.01	38.7	0.95	32.9	1.02
P4	145.4	0.98	76.0	1.00	39.3	0.94	33.8	1.00
P5	142.9	1.00	76.3	1.00	36.8	1.00	33.8	1.00

Table 5 The result of air change rate experiments

	Natural ventilation 1	Natural ventilation 2	Exhaust fan	Supply & exhaust fan
The air change rate [ln] (h <sup>-1</sup> )	0.42	0.79	1.56	1.79

1차 자연환기 모드의 경우 위치 P1에서의 공기 체류 시간은 128분을 나타내었고, 기타 지점에서는 143분에서 146분정도를 나타내고 있다. 한편 2차 자연환기 모드에서는 P1의 위치에서 43분 정도로 매우 짧은 공기 체류 시간을 나타내었으며, 기타지점에서 72분에서 76분 정도를 나타내고 있다. 배기팬 모드와 급배기모드에서 P1지점의 공기 체류 시간은 14분과 6분정도로 나타났으나 P2 지점에서는 다른 지점보다 오히려 공기 체류 시간이 길게 나타났다. 이것은 자연환기에 의해 실내로 유입되는 공기는 부력에 의해 안정적으로 공기가 전파되어 나가는 반면에 기계환기방식에서는 실내로 유입된 공기가 바로 혼합되는 현상을 보이는 것으로 분석된다.

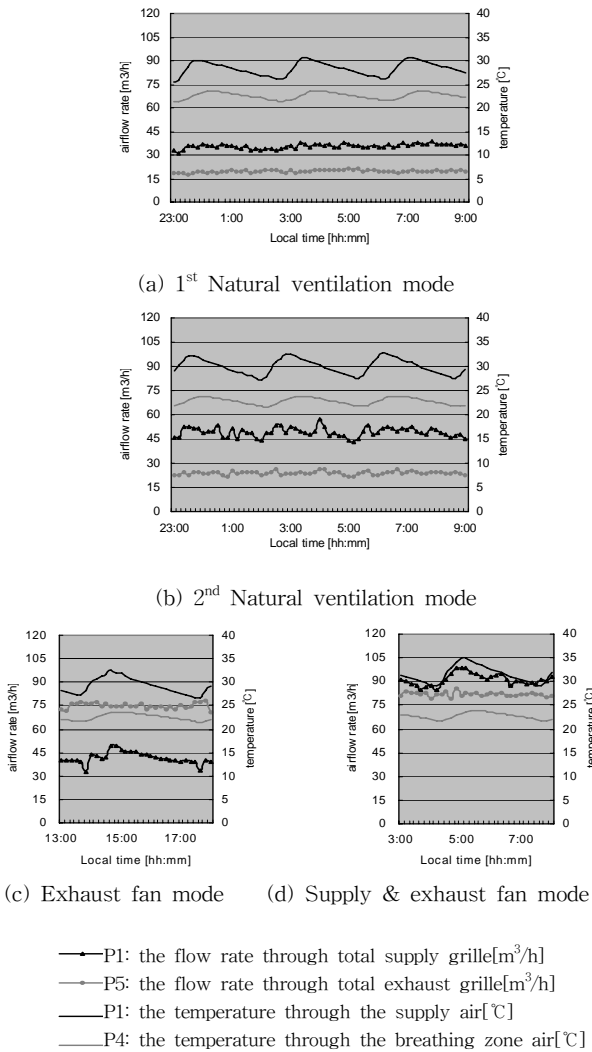


Fig. 6. Distribution of airflow rate and temperature

Fig. 7에서와 같이 추적가스 농도가 측정되었으며 이를 통해 산출된 실내 환기횟수는 Table 5와 같다.

실험결과, 본 시스템은 1차 자연환기 모드에서 0.42회, 2차 자연환기 모드에서 0.79회, 배기팬 모드에서 1.56회, 급배기팬 모드에서 1.79회의 환기횟수를 나타내어 공동주택의 환기시스템으로써 충분한 자연환기 성능을 나타내는 것으로 평가되었다. 2차 자연환기 모드시 1차 자연환기 모드에서보다 외기온도가 더 낮아져 실내의 온도차가 6K 정도 더 증가하자, 환기횟수가 시간당 평균 0.42회에서 0.79회로 약 2배 가까이 증가하였다. 이는 본 시스템의 자연환기 원리가 실내의 온도차로 인해 발생하는 압력차에 기인하기 때문에 외기온도가 낮아질수록 실내의 온도차가 증가하여 자연환기 성능이 더 향상된다는 것을 의미하는 것이다.

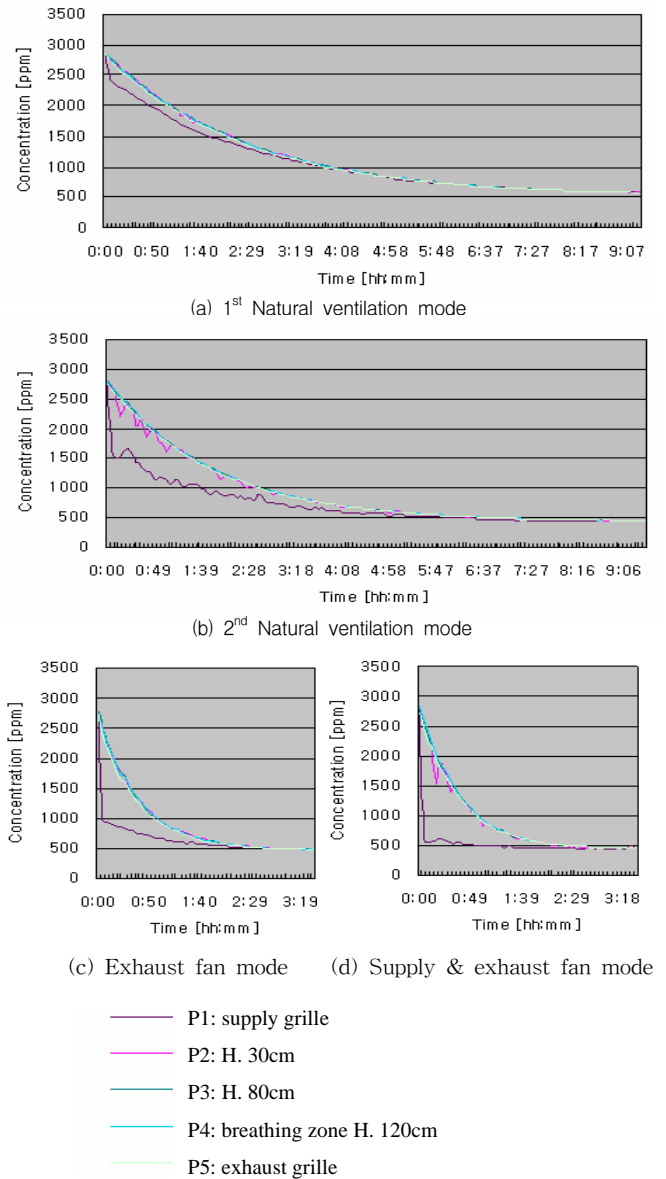


Fig. 7. The result of tracer gas test

또한, 배기팬 모드와 급배기팬 모드의 경우 추적가스 실험 결과 모두 시간당 환기횟수 1.5회 이상으로 충분한 환기가 이루어지는 것을 알 수 있었다. 강제배기의 경우 외기조건이 평균 8.9°C 임에도 불구하고 충분한 환기가 이루어져 동계는 물론 중간기의 환기시스템으로 충분한 환기 성능을 나타내는 것으로 평가되었다.

#### 4.2 실험주택에서의 실험 결과

실험주택에서의 환기성능 평가 결과는 Table 6과 같다. 자연환기 모드 실험에서 실온은 평균 22.9°C, 외기온도는 평균 5.6°C로 실내의 온도차

17.3K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 34.8m<sup>3</sup>/h로 공급되었으며 이때, 급기의 온도는 평균 29.7℃로 실온보다 약 7K, 외기보다는 약 24K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다. 배기팬 모드 실험에서 실온은 약 22.8℃, 외기온도는 평균 4.9℃로 실내외 온도차 17.9K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 46.8m<sup>3</sup>/h로 자연환기시와 유사한 량으로 공급되었으며 이때, 급기의 온도는 평균 29.1℃로 실온보다 약 6K, 외기보다는 약 24K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다. 급배기 모드 실험에서 실온은 약 23.1℃, 외기온도는 평균 4.6℃로 실내외 온도차 18.5K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 74.8m<sup>3</sup>/h로 공급되었으며 이때, 급기의 온도는 평균 32.6℃로 실온보다 약 9K, 외기보다는 약 28K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다.

실험주택에서의 실험결과, Table 6~7에서와 같이 자연환기 모드시 외기온도 5.6℃에서 시간당 환기횟수 0.52회를 나타내어 실물실험실 결과를 토대로 추정해 볼 때, 동계 환기시스템으로서의 환기 성능을 충분히 나타내는 것으로 평가되었다. 또한, 배기팬 모드와 급배기 모드의 경우 추적가스 실험결과 시간당 환기횟수가 1.91회와 3.08회를 나타내어 두 경우 모두 외기조건이 4.5℃ 이상임에도 불구하고 충분한 환기가 이루어졌다.

Table 6. The result of ventilation experiments

		Natural ventilation 1	Exhaust fan	Supply & exhaust fan
Outdoor air	Temperature (℃)	5.6	4.9	4.6
	Air velocity (m/s)	0.8	1.0	0.7
	Air direction	북서	북서	북서
Indoor air temperature(℃)		22.9	22.8	23.1
ΔT between indoor/outdoor(K)		17.3	17.9	18.5
Supply Airflow rate (m <sup>3</sup> /h)		34.8	46.8	74.8
Supply Air velocity(m/s)		0.26	0.35	0.56
Supply Air Temperature(℃)		29.7	29.1	32.6

Table 7 The result of air change rate experiments

	Natural ventilation 1	Exhaust fan	Supply & exhaust fan
The air change rate [ln] (h <sup>-1</sup> )	0.52	1.91	3.08

## 5. 결론

본 연구에서는 2곳의 실물실험공간에 자연환기가 가능한 다기능 온돌 시스템을 설치한 후 시스템의 동계 환기성능 평가를 실시하였다.

현장실측 결과 외기온이 -5℃인 조건에서 외기를 도입하였을 때, 온돌시스템에 의해 유입된 공기가 가열되어 실내 급기온도가 약 30℃까지 상승하여 온도차가 35K로 형성되었다. 이것은 실내외 압력차에 의해 자연환기가 유지될 수 있는 조건으로 작용하였으며, 이러한 온도 및 압력차는 자연환기를 유도시키는 패시브적인 수단으로 충분히 이용 가능한 것으로 분석되었다. 본 시스템 적용 시, 전체적으로 외기온 5℃~-5℃인 조건에서 환기 회수 0.4~0.8회를 만족하였으며, 기상청 자료<sup>(5)</sup>를 통해 한국의 동계 외기온이 가장 추운 달인 1월에 -6℃~7℃인 것을 고려할 때, 본 시스템은 무동력의 자연환기를 이용한 하이브리드 환기시스템으로 활용 가능성이 높은 것으로 평가되었다. 또한 실내로 유입되는 공기의 온도가 실내온도 이상으로 유지됨으로써 냉감(cold draft) 현상도 차단할 수 있는 것으로 분석되었다.

향후 실제 주택에서 다기능 온돌시스템을 이용한 자연환기성능에 대한 연구와 여름철에도 적용 가능한 하이브리드 환기 시스템 평가 연구가 계획될 필요가 있다.

## 후 기

본 연구는 2005년도 건설교통부와 한국건설교통기술평가원의 연구비(05건설핵심 C22) 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- ASHRAE, 1997, ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS
- 조동우, 1998, 데스크탑 개별환경모듈 시스템의 온열환경 및 환기효율 분석, 대한건축학회 논문집, v.14 n.11
- ASHRAE, 1997, ASHRAE STANDARD 129-1997 Measuring Air-Change Effectiveness
- 한국표준협회, 2006, KS M ISO 16000-8 실내 공기 - 제 8부 : 건물에서의 환기상태 평가를 위한 국부 평균 공기 체류 시간의 측정
- 기상청, 2007, 날씨정보/관측자료/기후자료/기후표/한국의 기후, <http://www.kma.go.kr>