

## 아파트 실내공기질 현장측정에 의한 전열교환 청정환기유니트 성능평가

이 정 재<sup>†</sup>, 이 중 훈\*, 이 승 민\*

동아대학교 건축학부, \*삼성물산 건설부분 기술연구소

### IAQ Field Survey in an Apartment Housing Equipped for Heat Recovery Ventilation System with Air Cleaning Function

Jung Jae Yee<sup>†</sup>, Joong Hoon Lee\*, Seung Min Lee\*

Faculty of Architectural Design & Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

\*Institute of Technology, Samsung Construction & Engineering, Sungnam 463-721, Korea

(Received March 15, 2005 ; revision received May 30, 2005)

**ABSTRACT:** Nowadays the natural ventilation rate decreases because the apartment housing is being air-tight. Therefore, Indoor Air Quality (IAQ) and indoor environment grow worse. Especially, Formaldehyde (HCHO), Volatile Organic Compounds (VOCs) which is emitted from the building materials and coating material etc. occur Sick House Syndrome that cause negative impact on resident's respiratory system and body. Therefore in construction field, it will be a important issues that development of a ventilation system with high effectiveness which can exhaust the contaminant out of the building quickly. In this research we evaluated "wall attachable duct-less Heat Recovery Ventilation (HRV) system with air cleaning function". We executed a synthetic evaluation about indoor air environment under various operating condition installing the system in real scale apartment house that is built in Anyang city. HRV system with air cleaning function showed good performance by removing HCHO, VOCs with less ventilation energy.

**Key words:** IAQ(실내공기질), HCHO(포름알데히드), VOCs(휘발성유기화합물), Sick house syndrome(결합주택증후군)

### 1. 서 론

국내 주택 건설시장의 경우, 2020년까지 700만 호 정도의 추가건설이 예상되고 있으며, 향후 대기오염 심화 및 건물 에너지소비량 증가가 전망되고 있기 때문에, 에너지절약 및 실내공기오염

제거효과가 있는 주택 환기시스템 실용화에 대한 요구가 매우 클 것으로 전망된다.

더욱이 최근 신축 공동주택에서는 건축 내장재 등에서 발생하는 미량의 유해화학물질로 인하여 실내공기오염 문제가 심각하게 대두되고 있어 실내오염물질 제거와 쾌적한 실내공기환경 확보를 위한 고효율의 환기시스템 개발은 향후 건설시장의 중요한 연구테마이다.<sup>(1-3)</sup>

본 연구에서는 국내 S전자 및 건설사가 공동 개발한 무덕트 타입의 벽부형 전열교환 청정환기

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-200-7609; fax: +82-51-200-7616

E-mail address: jjyee@dau.ac.kr

유니트의 성능 테스트를 위해, 안양에 위치한 신축 아파트 현장에 개발 시스템을 설치하여, 다양한 운전조건에서 실내공기 환경에 대한 종합적인 성능평가를 실시하였다.

### 2. 검토대상 환기시스템의 개요

Fig. 1에 검토대상 “전열교환 청정환기시스템”의 상세를 나타낸다. 검토대상 시스템은 1대의 전열교환 환기유니트에 2대의 실내(청정) 유니트가 연결되어 전열교환에 의한 환기 및 청정이 가능하도록 구성되어 있다. 본 시스템에는 실내(청정) 유니트 내부에 HEPA 필터 외에 VOC 및 HCHO 제거를 위한 기능성 필터가 내장되어 있어 환기를 실시하지 않고 청정모드만을 가동하여도 VOC 및 HCHO가 제거 가능하도록 되어 있으며, 환기와 청정 동시가동도 가능하다. 따라서 공기청정 효과에 따라 환기량을 줄일 수 있어 환기에너지의 절감과 실내공기질의 개선을 동시에 도모할 수 있다는 것이 본 시스템의 특징이라 할 수 있다. 또한 본 시스템은 덕트 스페이스가 필요없는 무덕트 벽부형으로 개발되어 일반적인 벽식구조 아파트에도 적용할 수 있는 강점을 갖고 있다.<sup>(4)</sup>

### 3. 측정개요

측정은 2003년 12월 9일~12월 15일(7일간) 동안, 개발시스템을 실제 입주 전 신축아파트(안양시 B 아파트 현장 32평형)에 시범 설치하고, 다양한 운전조건에서 아래의 실내온열환경과 공기오염물질의 농도변화를 측정하였다.

- 온열환경 요소 : 온도, 습도, 기류, PMV
- 실내공기질 요소 : HCHO, TVOC

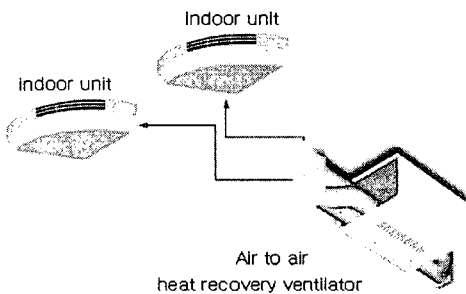


Fig. 1 Details of HRV system with air cleaning function.

본 시스템의 경우, 전술한 바와 같이 실내 오염 발생의 특성에 따라 대응할 수 있는 여러 가지 운전모드를 가지고 있지만 금번 시험은 시간당 1회 환기모드와 1.2회 환기모드의 조건으로 나누어 측정하였으며, 각각의 환기모드에 대해 청정모드를 추가하여 측정하였다. 또한 환기시스템의 가동으로 인해 발생하는 기류가 실내환경에 미치는 영향을 평가하기 위해 환기모드시에 발생하는 실내 기류분포를 측정하였다.

Table 1에 측정항목, 측정방법 및 측정기기를, Fig. 2에 시스템 설치 및 측정위치를 나타낸다. 그림에 주목하면 환기유니트는 안방과 거실에 설치되어 있으며, 공기질과 온열환경요소의 측정은 안방과 거실에서 동시에 실시되었다.

측정기간 중의 실내온도는 겨울철 실내의 일반적인 온도조건인 22℃로 설정하였으며, 거실 및 안방 중앙부위의 온·습도, 수직온도 분포를 측정하고, 실제 거주상태의 안방에서 PMV 측정을 병행하였다. 공기질 측정은 9일에서 15일까지(14일 제외)의 실험기간 동안, 전일 오후에서 익일 오전까지 밀폐상태에서 실내 공기질을 측정하고 30분간 환기(창문개방)시킨 후 환기시스템 운전모드에 따라 환기시스템을 가동하는 조건을 반복하여 연속 측정을 실시하였다.

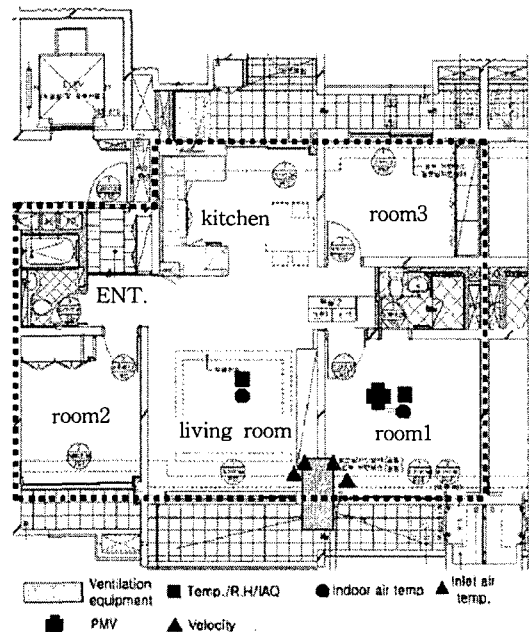


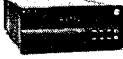


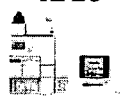



Fig. 2 Position of the instrumentation.

Table 1 Outline for experiment

	Monitoring	Point	Time	Equipment
Indoor thermal comfort	Indoor dry bulb temp.	1100 mm on the floor (master bed room & living room)	Continuous	Delta-OHM 
	Indoor relative humidity	1100 mm on the floor (master bed room & living room)	Continuous	
	Outdoor dry bulb temp.	Outdoor	Continuous	
	Outdoor relative humidity	Outdoor	Continuous	
	PMV	1100 mm on the floor (master bed room)	Continuous	Thermal comfort meter 
	Indoor air temp.	300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100 mm on the floor (master bed room & living room)	Continuous	Data acquisition unit 
	Inlet air temp.	Inlet/(master bed room & living room 2ea.)	Continuous	
Indoor air comfort	Air velocity	Inlet & exhaust	Continuous	TSI 8465 
	Indoor air velocity	Master bed room & living room	Designated time	TSI 8357 
	HCHO	Middle of master bed room & living room (1~1.2 m on the floor)	Designated time	HPLC 
	TVOC	Middle of master bed room & living room (1~1.2 m on the floor)	Designated time	GC/MS (HP 6890/5973) 

#### 4. 성능평가 결과

##### 4.1 실내 온열환경 분석결과

###### 4.1.1 실내 온·습도 분포

Fig. 3은 각 실의 측정기간 중 온·습도 변화를 나타내고 있으며, 그림에 주목하면, 거실 및 안방의 온도는 밀폐시 20~22℃의 대체로 일정한 값을 나타내고 있으나, 환기(창문개방)시 온도는 10℃ 내외 까지 떨어졌다가 약 1시간 후에는 환기 시스템의 운전모드에 상관없이 다시 20~22℃의 값을 유지하고 있다.

실내유니트의 급기온도에 주목하면, 환기모드만 가동하는 A, C의 경우는 약 16~17℃의 값을 나타내고 있으나, 청정과 환기를 동시 가동하는 B, D, E의 경우는 19~20℃의 값을 나타내고 있다. 이는 동일한 실내공기질을 유지하기 위하여 청정 환기모드가 환기모드보다 급기온을 높일 수 있고, 이는 에너지절약과 겨울철 콜드 드래프트 저감시킬 수 있다는 것을 시사한다.

그러나 실제 측정세대는 실내온도 설정에 따라 온도가 자동조절되는 난방기가 설치되어 있어 환기시 급기온도가 떨어진다 하여도 실내온도분포에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다.

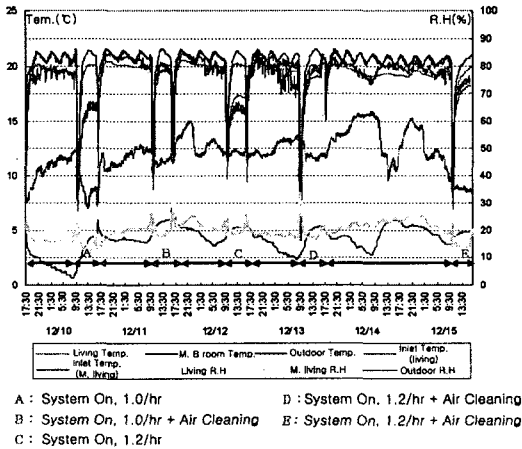


Fig. 3 Tem. & Humidity at monitoring point.

한편, 상대습도에 주목하면, 사람이 거주하지 않는 조건에서는 겨울철 건조한 상태인 10~30%의 결과를 보이고 있다.

환기시스템 가동 직후 및 환기(창문개방)를 하는 동안에는 순간적인 실내온도 하강으로 상대습도가 상승하나 환기(창문개방)를 끝내고 환기시스템 가동 후에는 다시 환기시스템 off시의 상대습도와 유사한 값을 나타내고 있다.

4.1.2 실내 수직온도분포

환기시스템이 설치되어 있는 안방과 거실의 수직온도분포를 알아보기 위해 바닥면으로부터 0, 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100 mm의 8점에 대한 온도를 연속으로 측정하였다.

측정을 실시한 세대의 경우, 거실 발코니 전방 부분이 옹벽으로 되어 있어 낮시간 동안 일사에 의한 영향이 적어 환기시스템의 가동으로 인한 실

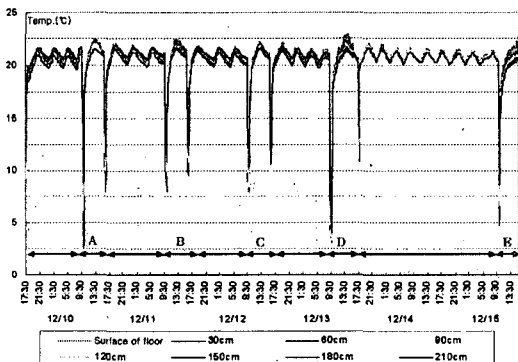


Fig. 4 Vertical Tem. at monitoring point.

내온도분포 변화에 큰 영향을 주는 외부요소는 거의 없는 상황이다.

실내 수직온도분포 측정결과를 Fig. 4에 나타내나 수직온도분포가 거의 유사한 패턴을 보이고 있음을 알 수 있다.

환기시스템 off시에는 바닥난방의 영향으로 상층부 온도가 상승하여 상하부는 약 0.5~1.0℃의 온도차이를 보였다. 반면, 환기시스템 on시에는 급기공기가 오른쪽(실내유닛 측에서 볼 때)으로 취출되어 왼쪽으로 돌면서 실 하부로 확산되고, 바닥면 근처까지 도달한 후 다시 실내기 왼쪽의 배기구로 향하는 기류구조<sup>(4)</sup>에 영향을 받아 실 하부의 온도가 저하되고 있다. 그러나, 급기량이 아주 적기 때문에 찬 급기공기가 실내기 근처에서 하강하여, 측정점 부근에서는 실 하부온도는 상부보다 오히려 높게 측정되었다.

그러나 전체적으로 환기시스템의 on/off시 실내 수직온도분포의 차이는 크지 않았으며, 이는 전열교환기의 채용으로 실내유닛의 급기온도와 실온과의 차이가 1~4℃ 정도로 크지 않아 수직온도분포에 미치는 영향이 적은 것으로 판단된다.

4.1.3 PMV(온냉감 쾌적지표) 측정결과

실내의 열적 쾌적조건을 측정 평가하기 위하여 안방의 중앙부분에서 PMV를 연속으로 측정하였다. Fig. 5는 PMV 측정결과를 나타낸다.

실내 PMV값은 환기시스템 가동 전, 실내공기질 측정을 위해 환기(창문개방)를 하였을 때 실내온도가 급격히 하락하여 -5까지 떨어지는 것을 볼 수 있으나 환기를 끝내고 환기시스템을 가동하는 경우 시간이 지남에 따라 쾌적범위인 -0.5~0.5값을 나타내고 있다.

첫번째 환기시스템 가동조건이 환기(1.2회 환기)

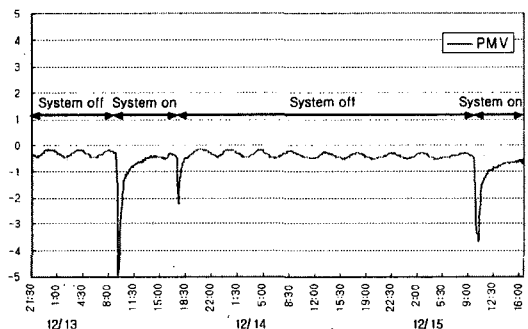


Fig. 5 PMV value at monitoring point.

Table 2 Velocity at monitoring point

	Air change per hour ( $h^{-1}$ )	Horizontal reaching distance (h=2.1 m)	Vertical reaching distance
Living room	1.0	1.96	-
	1.2	4.5	1.5
M. bed room	1.0	0.8	-
	1.2	0.6	-

청정 동시 가동모드이기 때문에 풍량이 가장 많았음을 고려할 때, 다른 모드로 시스템을 가동할 때에도 실내 쾌적 조건에 미치는 영향이 적음을 예상할 수 있어, 개발 환기시스템은 PMV 만족도를 충족시킨다고 할 수 있다.

4.1.4 실내기류 측정결과

실내기류 측정결과를 Table 2에 나타낸다. 실내기류가 0.25 m/s를 초과하게 되면 거주자가 불쾌감을 느끼게 되며, 표에서 도달거리란 실내기류속도가 0.25 m/s를 초과하게 되는 범위를 말한다.

수평도달거리는 환기시스템이 설치되어 있는 높이를 기준으로 측정하였으며, 수직도달거리의 경우 수평도달거리의 위치에서 높이를 변화시켜 가며 측정하였다.

결과에 주목하면, 우선 안방의 경우에는 수평도달거리도 짧고 찬 공기의 하강에 의한 수직도달거리에서도 기류속도가 기준치를 초과하지 않아 환기운전에 의한 기류 불쾌감은 생기지 않을 것으로 판단된다. 거실의 경우, 급기풍량이 많은 이유로 수평도달거리가 안방에 비해서 긴 것을 알 수 있다. 환기회수가 1회인 경우의 수직도달

거리는 문제가 되지 않으나, 1.2회인 경우는 바닥 높이 1.5 m 이상에서 기준치를 초과하고 있어 기류에 의한 불쾌감이 예상된다.

그러나 급기구의 브레이드(blade)를 활용하여 천정 쪽으로 기류방향을 제어하거나 혹은 브레이드의 swing 모드를 활용한다면 불쾌감을 제거할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 실내 공기환경 분석결과

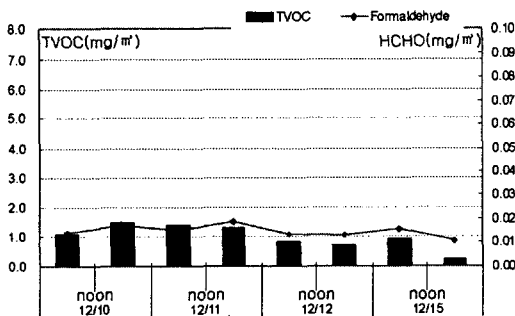
4.2.1 각 실의 오염물질농도

거실과 안방에서 측정된 일별 HCHO, TVOC의 결과를 Fig. 6에 정리하여 나타낸다 그림에서 좌측은 TVOC, 오른쪽은 HCHO의 수치를 나타낸다.

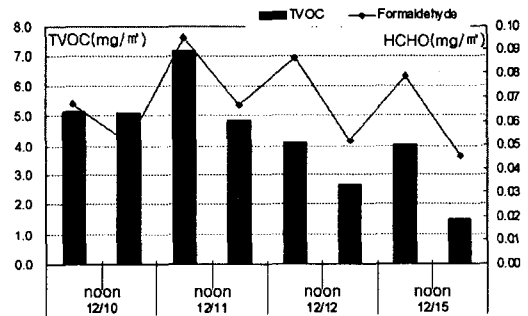
거실의 경우, TVOC 농도가 환기시스템의 운전 전에 관계없이 환정부 “다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법” 권고치( $500 \mu g/m^3$ )를 초과하고 있다. 안방의 경우도 거실보다는 낮지만 TVOC 농도가 대체로 권고치를 초과하고 있다. 그러나 환기(ACH=1.2) 청정 동시 가동모드의 경우 안방에서의 TVOC 농도는 권고치 이하를 나타내고 있다.

한편, HCHO 농도는 환기시스템의 운전 전에 관계없이 모든 조건에 있어서 권고치( $120 \mu g/m^3$ ) 이하를 나타내고 있다.

전체적으로 거실이 안방에 비해 오염물질 농도가 높게 나타났으나, 이는 안방 쪽에 배란다 새시가 설치되지 있지 않아 기밀성능이 높지 않은 안방이 외기와 직접 면해 있었고, 거실의 경우에는 주방과 거실 사이에 칸막이가 없어서 주방기구 등에서 발생하는 오염물질의 영향을 받았기 때문이라고 사료된다.



(a) Master bed room



(b) Living room

Fig. 6 HCHO & TVOC at monitoring point.

Table 3 Contaminant decreasing rate by ventilation system

	Contaminant	Contaminant decreasing rate (%)	
		1.2	1.2+A.C
M. B.	TVOC	15.0	80.0
	HCHO	3.7	32.3
L.	TVOC	34.4	62.5
	HCHO	39.9	42.4

M. B. : Master bed room, L. : Living room,  
A.C : Air cleaning mode

#### 4.2.2 환기시스템 운전조건과 오염물질 농도감소율

환기시스템의 운전에 의한 오염농도 감소율을 Table 3에 나타낸다. 전체적으로 환기회수가 증가할수록, 청정기능이 부가될수록 오염물질이 감소되는 것을 알 수 있다. 환기회수 및 청정기능 추가에 의한 감소율은 HCHO보다 TVOC에서 현저하게 나타나고 있으며, 조건에 따라 안방에서 최대 80%, 거실에서 최대 62.5%의 감소율을 나타내고 있다.

한편, TVOC 농도에 주목하면, 공기청정 환기(ACH=1.2) 동시 가동모드인 경우 감소율이 크게 나타났으며, 간이측정기로 측정결과 거실 중앙부와 주방 중앙부의 오염도가 동일하게 측정되었다. 이는 본 환기시스템으로 전관환기가 가능하다는 것을 시사하는 결과이며, 운전모드의 특성에 따라 환기성능이 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 무덕트 타입의 벽부형 전열교환 청정환기유니트의 성능테스트를 위해, 경기도 안양에 위치한 입주전 신축 아파트 현장에 검토대상 시스템을 설치하여, 다양한 운전조건에서 실내공기환경에 대한 종합적인 성능평가를 실시하였다. 본 연구에서 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 실내온열환경의 분석결과, 공기청정과 환기 동시가동의 경우, 환기만을 실시하는 것에 비해 급기온도를 높일 수 있어 환기에너지 절감과 콜드드래프트의 발생을 저감시킬 수 있으며, 실온저하방지에 따라 온열환경에의 영향도 줄일 수 있다.

(2) 환기만을 실시하는 경우, 환경부 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법” 권고치를 초과한 안방의 실내 TVOC 농도를 공기청정 환기(ACH

=1.2) 동시가동의 경우 권고치 이하로 줄일 수 있어 공기청정 겸용 환기시스템의 공기질 개선효과는 크다고 할 수 있다.

(3) 그러나 검토세대와 같이 일반자재를 사용한 경우, 고효율의 환기시스템을 적용하여도 실내농도가 권고치 이하로 떨어지지 않을 수 있으므로, 실내공기질 개선을 위해서는 오염물질 발생량이 적은 친환경 자재와 고효율의 환기시스템을 병행할 필요가 있다.

## 참고문헌

- Richard, A. W. and Peter, A. S., 1983, Indoor Air Pollution, Jhon Wiley & Sons, Inc.
- ASHRAE, 2001, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE Standard 62.
- CEN prEnV, 1996, Ventilation for Buildings, Design Criteria for the Indoor Environment.
- Yee, J. J., Lee, S. H., Kim, Y. K. and Park, S. K., 2005, CFD Simulation on the indoor air quality in apartment housing equipped for total heat exchanger with air cleaning function, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 21, No. 3, pp. 157-164.
- Yee, J. J., Han, H., Chung, K. S. and Park, Y. C., 2002, Thermal and ventilation characteristics in a workstation area by personal air-conditioning system, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 101-106.
- Chen, Q. and Meyers, A., 1988, Measurements and computations of ventilation efficiency and temperature efficiency in a ventilated room, Energy and Buildings, pp. 88-99.
- Awbi, H. B., 1989, Application of computational fluid dynamics in room ventilation, Building and Environment, 24, pp. 73-84.
- Rehwagen, M., Schlink, U. and Herbarth, O., 2003, Seasonal Cycle of VOCs in Apartments, Indoor Air 2003.
- Hutter, H. P., 2002, Volatile organic compounds and formaldehyde in bedrooms, Results of a Survey in Vienna, Austria, Indoor Air 2002 Proceedings.