

# 공동주택 하이브리드(Hybrid) 환기시스템의 성능예측

황지현, 오창용, 최홍원, 김무현\*

울산대학교 기계자동차공학과

## A Prediction of Hybrid Ventilation System Performance in Apartment House

Hwang Ji-Hyeon, Oh Chang-Yong, Choi Hung-Won, Kim Moo-Hyun\*

School of Mechanical and Automotive Engineering,

University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

**ABSTRACT:** A hybrid ventilation system was introduced to predict the ventilation performance of the apartments. This ventilation system was composed of the natural supply-air inlet and the forced exhaust-air outlet. Analysis was conducted by CFD technique and was performed on three ventilating flow rates; 30, 60, 120 m<sup>3</sup>/h. As the results, residents feel comfortable thermally and in air flow conditions for 60 m<sup>3</sup>/h. But the case of 30 m<sup>3</sup>/h shows 1100ppm of CO<sub>2</sub> concentration due to the deficient of air flow rate. In the case of 120 m<sup>3</sup>/h, however, residents feel uncomfortable thermally and in air currents. In this study the energy saving for space heating is also an important factor. A detailed prediction for more complicated whole apartment space will be investigated in the future.

**Key words:** Ventilation system(환기장치), Natural ventilation(자연환기), Apartment house(공동주택),

### 기 호 설 명

- $c$  : CO<sub>2</sub> 농도 [ppm]
- $D_h$  : 수력학적 지름 [m]
- $Sc$  : 농도방정식의 생성항 [W/m<sup>3</sup>]
- $\beta$  : 체적 팽창계수 [1/K]
- $\mu$  : 점성계수 [kg/(m·s)]

### 1. 서 론

생활방식 및 주거형태가 변화하면서 재실자가 실내에 머물게 되는 시간은 점점 길어지고 있다. 이로 인해 시공 편의성 위주로 수행되던 주거공간설계가 재실자 욕구 충족 위주로 변화하고 있다. 최근 실내 환기 규제가 점점 더 엄격해지고

있다. 건설교통부에서 발표한 공동주택 환기기준에서는 2005년부터 신축, 재건축되는 다중이용시설의 경우 적절한 실내공기 질을 유지하기 위하여 공동주택의 경우 시간당 0.7회 이상 환기횟수를 규정하고 있으며, 초고층 주상복합건축물이나 100개 이상의 병상 수를 가진 의료기관 등은 기계환기설비를 갖춰 환기기준을 충족하도록 요구하고 있다.

최근 실내에 위치한 주방환기시스템과 관련하여 많은 연구가 이루어졌다.<sup>(1-4)</sup> 이들의 연구는 가스렌지가 작동하는 경우 실내 CO<sub>2</sub>농도분포 및 주방 환기성능에 대해 연구하였다. 그러나 그들은 자연급기가 기존의 창문의 틈새를 통해 이루어지는 것으로 고려하였다.

일반적인 실내 환기시스템 및 환기성능에 관한 연구로서 Choi<sup>(5)</sup>는 E-spr프로그램을 사용하여 실내 전체공간에 대한 자연환기성능 향상에 대해 조사하였고, Kim 등<sup>(6)</sup>은 공동주택 환기시스템의 환기효율에 관해 연구하였다. Lee<sup>(7)</sup>는 기존 공동

\* Corresponding author

Tel.: +82-52-259-2128; fax: +82-52-259-1683

E-mail address: mhkim@ulsan.ac.kr

주택에 적용 가능한 환기시스템으로 전열교환기를 선택하여 급기와 배기구 거리에 의한 환기 효율 및 오염원의 위치에 따른 환기제거 효율에 관한 연구를 수행하였다. Park<sup>(8)</sup>은 실험을 통하여 실외 급·배기구 형상에 따른 환기효율을 비교·분석하였으며, CFD를 통하여 적정 실외 급·배기구 위치를 제안하였다. 실내 전체공간의 환기나 상시 환기에 관한 연구는 주방이나 욕실 환기에 관한 연구에 비해 아직 미흡한 상황이다.

환기방식의 유형은 세 가지로 분류된다. 세 가지 모델 중 제3종 환기장치는 배기는 강제 기계배기이고 급기는 자연급기구를 통해 이루어진다. 즉 강제배기에 의한 공간 내 부압차로 외부 공기가 자연 유입되는 방식인데, 배기력이 뛰어나기 때문에 벽체 내 습기 침투가 어려워 균류 등의 번식이나 내장재의 부식을 방지할 수 있다. 그리고 급기구를 통해 유입되는 공기를 필터링함으로써 공기 질을 향상시킬 수 있고 필터교환이 용이하다. 자연환기장치는 환기 설비를 위한 공간차지도 다른 환기방식에 비해 작고 장치 또한 간단하기 때문에 설치도 쉽다. 설비 및 유지·보수비용이 저렴하다는 것은 가장 큰 장점으로 부각된다.

최근의 초고층 또는 첨단건축물의 경우 높은 단열효과 등을 위해 빌딩의 기밀성능이 크게 향상되고 있다. 이러한 고단열, 고기밀성 건물의 경우 기존과 같은 창문틈새를 이용한 환기 해석은 불가능하게 된다. 이러한 변화된 요구에 부합되는 장치가 하이브리드 환기 장치이다. 이 시스템의 실제 적용을 위해서는 여러 가지 경우와 다양한 영향요소를 분석하고 예측해 볼 필요가 있다. 이를 위한 선행 단계로 CFD를 이용하여 자연환기장치의 성능을 예측 검토함으로써 최적화된 시스템을 제시하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 제3종 환기방식인 하이브리드 환기시스템의 성능에 대해 조사한다. 자연환기장치에서 재실자에게 영향을 크게 미치는 요소인 실내기류의 온도, 속도분포와 오염물질의 농도분포를 수치해석하여 실내환경기준을 만족하는지의 여부를 확인 후 실제 적용성을 판단하고자 한다.

## 2. 해석모델

본 논문에서는 Fig. 1에서 보이는 것과 같이 재건축 되고 있는 33평형 공동주택을 대상으로 해석하였다. 전체공간은 세 개의 침실과 두개의 욕실, 현관, 거실, 주방으로 구성되어있으며 여기서 우선 거실과 주방 통로 공간을 하나의 실로 가정 Fig. 2와 같이 나타내었다. Fig. 2의 해석영역 크기는 6.6m×4.4m×2.4m이며 기준점은 침실-2 벽면으로 정하고 욕실방향이 x축 거실 방향이 y축 천장방향을 z축으로 정하였다.

주 오염원은 호흡에 의한 CO<sub>2</sub>로 가정한다. 기타 오염발생원이 있지만 CO<sub>2</sub>가 제거 된다면 다른 오염요소들도 함께 제거 가능하다고 여겨지기

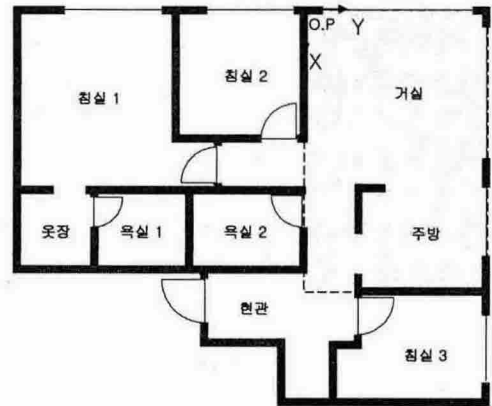


Fig. 1 Plane view of a model apartment

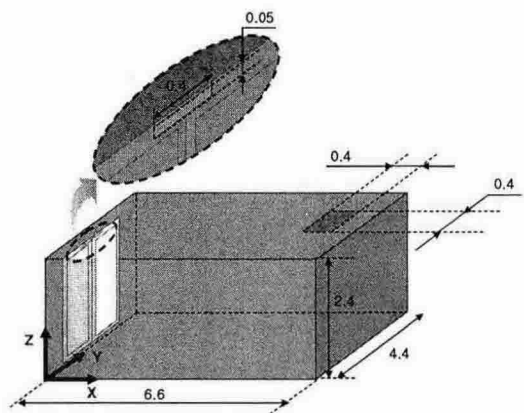


Fig. 2 Schematic diagram of the livingroom and kitchen area [Unit : m]

때문이다<sup>(9)</sup>.

환기시스템의 설치 위치는 배기구의 경우 천장에 설치하고 급기구는 창 새시나 발코니 새시의 상부로 한다. 거주 공간의 바닥 면에서 1.8m 높이와 벽면에서 0.6m 떨어진 공간이 재실자의 주 활동영역이다. 이러한 기준이 제시된 이유는 성인 평균 신장이 1.8m이하 이고 벽면에는 일반적으로 가구 등이 배치되는 경우가 많기 때문이다. 재실자에게 불쾌감을 주지 않기 위해서는 이 영역 내에서 가능한 온도 변화가 없어야 하고 기류 속도는 난방기에는 0.15m/s이하, 비난방기에는 0.25m/s이하가 되어야 한다. CO<sub>2</sub>의 허용 농도는 1000 ppm이하이다. 우리나라의 경우 겨울철 실내와 외기의 온도차가 심해 실내 환기 시 에너지의 손실이 많이 발생하고 쾌적한 실내 환경 조성이 어렵다.

그러므로 자연환기시스템을 적용하였을 경우 겨울철 외기 도입에 의한 실내 온도변화, 기류변화와 환기율을 살펴보고 타당성을 검토하고자 한다.

### 3. 지배방정식 및 경계조건

#### 3.1 지배방정식

사용된 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식, 농도방정식, 난류운동에너지방정식, 그리고 난류운동에너지소산방정식이다. 해석 영역인 거실과 주방영역은 바닥 난방에 의한 상승공기와 외부에서 유입된 차가운 공기를 포함하므로 난류와 자연대류가 혼합된 형태로 생각하였다. CO<sub>2</sub> 농도의 경우 그 양이 소량이므로 공기의 거동을 따른다고 가정한다. 해석에 사용된 방정식은 Table 1에 나타내었다.

난류운동에너지 및 난류운동에너지소산방정식에 사용된  $k-\epsilon$  값은 상용 프로그램의 기본 조건과  $k=1.5(0.1V)^2$ ,  $\epsilon=C_{\mu}k^{1.5}/(0.5D_h)$ 를 이용한 값을 비교해본 결과 큰 차이가 없었기 때문에 해석조건에 사용된 속도 값과 수력학적반경을 이용한 후자의 값을 사용하였다.

#### 3.2 경계조건

해석영역은 33평 공동주택의 거실과 주방을 대상으로 하며 크기는 6.6m×4.4m×2.4m이다. 배기장치는 천장에 위치시켰으며 급기구는 거실의 전면성 확보와 동시에 외기를 도입 할 수 있는 발코니상부에 설치하였다. 겨울철에는 극심한 실내·외 온도차로 인하여 환기를 위해 외부공기를

Table 1 Governing equations.

Governing Eq.	Fundamental Eq.
Continuity Eq.	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0$
Navier-Stokes Eq.	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right) + \rho g_i \beta \Delta T \right]$
Energy Eq.	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu}{Pr} \left( \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{\mu_t}{Pr_t} \left( \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \right]$
Concentration Eq.	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j c) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu}{Sc} \left( \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) + \frac{\mu_t}{Sc_t} \left( \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) \right]$
$k$ Eq.	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t \left[ G - \frac{g_i \beta}{Pr_t} \left( \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \right] - \rho \epsilon$
$\epsilon$ Eq.	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \mu_t \left[ G - \frac{g_i \beta}{Pr_t} \left( \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \right] - C_{\epsilon 2} \frac{\rho \epsilon^2}{k}$
where,	$\mu_t = C_{\mu} \rho \frac{k^2}{\epsilon}$ , $G = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ $C_{\mu} = 0.09$ , $C_{\epsilon 1} = 1.44$ , $C_{\epsilon 2} = 1.92$ , $\sigma_k = 1.0$ , $\sigma_\epsilon = 1.3$

유입 할 경우 재실자가 불쾌감을 느끼게 되므로 자연환기를 할 때는 상당한 주의를 요하게 된다. 그러므로 이 논문에서는 자연환기를 적용하기 어려운 조건인 겨울철 낮은 외기와 바닥 난방 조건을 대상으로 해석하였다.

해석영역의 최소 규제 환기량은 48.8 m<sup>3</sup>/h 이므로 실제 공기유동에 의한 적절한 환기가 이루어지는 급·배기량을 알아보기 위하여 풍량을 30, 60, 120 m<sup>3</sup>/h로 변화시켜 해석하였고 이에 따른 각각의 배기 속도는 0.052, 0.104, 0.208m/s 이다.

급기의 경우 별도의 기계장치치가 아닌 크기 0.4m×0.05m의 자연급기구를 창틀의 중앙에 배치시켰다.

실내 온도는 297K, 바닥 난방온도는 300K, 외기는 263K로 설정하였다. CO<sub>2</sub>의 경우 다중이용시설 실내 환기 기준에서 제시하는 1000 ppm 보다 높은 1500 ppm 설정하였고 유입공기의 CO<sub>2</sub> 농도는 일반 대기의 CO<sub>2</sub>농도인 300 ppm을 사용하였다.

### 3.3 해석방법

자연급기구를 이용한 환기시스템의 성능을 예측하기 위해 실내 공기유동, 온도분포 및 CO<sub>2</sub> 농도를 상용 프로그램 Fluent를 이용해 해석하였다.

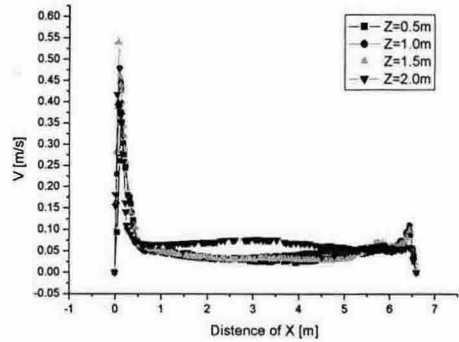
격자는 33×33×24 로 구성된 엇갈림 격자이며 배기에 의한 강제대류와 온도차에 의한 자연대류가 혼합된 경우로 해석하였다.

## 4. 해석결과 및 고찰

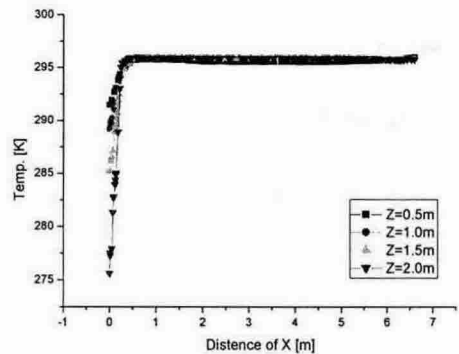
다중이용시설환기규제법에서 제안된 최소 환기량 0.7회/h를 기준으로 약 40% 감소시킨 값인 30 m<sup>3</sup>/h 풍량으로 환기한 경우는 Fig. 3과 같다. 그림에서 속도분포를 살펴보면 유입 공기의 속도는 대부분의 주 활동영역에서 0.1 m/s 이하이다. 난방기 실내기류 속도가 0.15 m/s 이하이면 재실자에게 부담이 되지 않는 상태이며 벽면에서 0.5m 지점까지는 기류변화의 폭이 기준치보다 높더라도 비 활동영역이므로 큰 문제가 되지 않는다. 그러므로 주 활동영역의 기류속도분포는 적절한 수준이다. Fig. 3(b)의 온도분포의 경우 실내온도는 297K, 난방온도는 300K로 설정하였는데 외부의 263K인 공기가 유입된 것을 감안 할 때 1K

정도의 온도 감소는 큰 변화는 아니다. 주 활동영역에서의 온도 변화가 없으므로 30 m<sup>3</sup>/h 풍량은 실제 적용 가능한 시스템이라 할 수 있다.

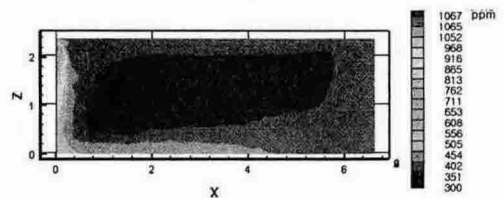
그러나 Fig. 3 (c)의 결과에서 보는 바와 같이 실내 평균 CO<sub>2</sub> 농도는 1100 ppm으로 규제치인 1000 ppm을 상회하므로 기준치를 만족하지 못한다.



(a) Velocity



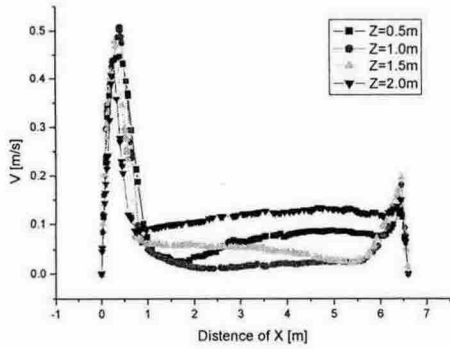
(b) Temperature



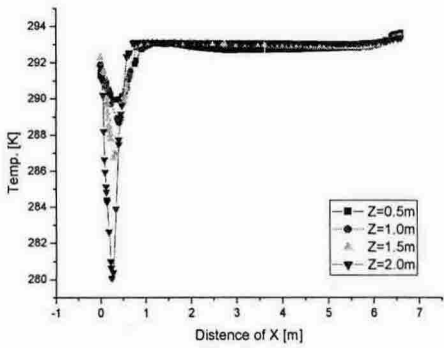
(c) Concentration of CO<sub>2</sub>

Fig. 3 Simulation results of velocity, temperature and concentration at 30 m<sup>3</sup>/h and Y=2.2m

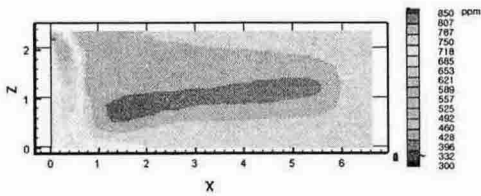
Fig. 4는 최소 환기량 보다 약 20% 증가된 환기량으로 배기한 경우이다. 속도분포 결과에서 (Fig. 4 (a)) 실내기류속도분포는 급기구 근처를 제외한 주 생활공간영역에서 0.15m/s이하로 나타났고 Z=1.8m이내의 활동영역에서는 0.5m/s이하로 나타나 재실자가 쾌적함을 느낀다. Fig. 4 (b)에서 온도분포는 생활공간영역에서 거의 일정하



(a) Velocity



(b) Temperature

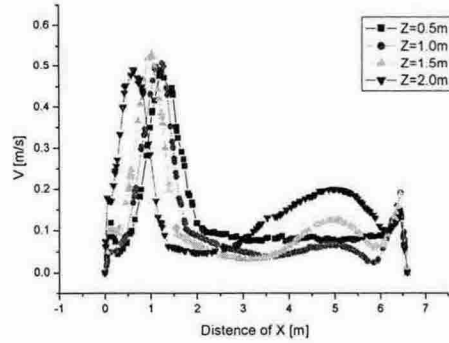


(c) Concentration of CO<sub>2</sub>

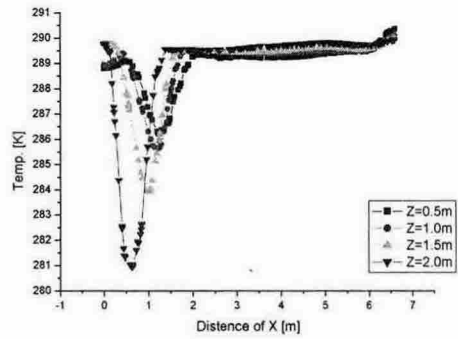
Fig. 4 Simulation results of velocity, temperature and concentration at 60 m<sup>3</sup>/h and Y=2.2m

게 나타났고 수직방향에 대해서도 0.5K이하의 온도차를 보여 열적 쾌적성이 우수하게 나타났다.

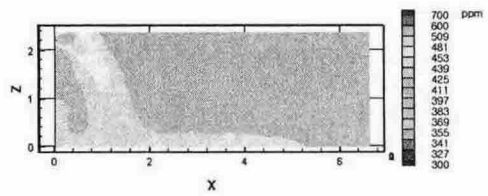
다만 실내 환기유량으로 인해 실내온도가293K로 나타났으며 겨울철 실내 난방온도인297K를 유지하기 위해서는 바닥 난방온도를 높여 줄 필요가 있다. 한편 실내 CO<sub>2</sub> 농도는 800 ppm으로 기준량 이하 조건을 만족하고 있다.(Fig. 4 (c)).



(a) Velocity



(b) Temperature



(c) Concentration of CO<sub>2</sub>

Fig. 5 Simulation results of velocity, temperature and concentration at 120 m<sup>3</sup>/h and Y=2.2m

Fig. 5 는 풍량을 충분히 준 조건인데 이 경우 Fig. 5 (c)의 CO<sub>2</sub> 농도는 급격히 감소하여 환기 측면에서는 가장 최상의 결과이지만 Fig. 5 (a), (b)에서와 같이 실내 온도분포의 속도 분포 면에서는 재실자에게 불쾌감을 주는 결과를 초래하므로 실제 적용 하기에는 부적합하다.

## 5. 결론

본 연구는 강제배기와 자연급기가 혼합된 제3종 환기방식인 하이브리드 환기시스템의 성능을 CFD를 이용하여 수치 해석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 30 m<sup>3</sup>/h의 경우는 실내 기류속도와 온도 변화 면에서 적용 가능한 결과이지만 CO<sub>2</sub> 농도 변화를 살펴봤을 때 환기성능이 부족하다. Fig. 5에서와 같이 120 m<sup>3</sup>/h의 풍량으로 환기를 한 경우 유입 공기의 속도가 재실자의 주 활동영역에서 0.15 m/s를 넘어서기 때문에 불쾌감을 느낀다. 환기에 따른 실내 온도 저하에 있어서 30 m<sup>3</sup>/h 과 비교했을 때 14% 이상이 되므로 에너지 손실이 우려된다.

(2) 60 m<sup>3</sup>/h의 경우 속도와 온도 변화 면에서 적절한 결과를 나타내고 있다. 오염물질의 제거 면에서도 기준 환기량을 만족하는 성능을 나타내므로 실제 적용 가능성이 높다고 생각된다.

(3) CO<sub>2</sub> 제거 성능을 우선으로 한다면 배기 풍량을 크게 하는 것이 좋지만 자연환기의 경우 급기구에서 유입되는 공기에 의해 내부 온도 변화나 기류속도가 재실자에게 불쾌감을 발생 시킬 가능성이 있으므로 설계단계에서 이를 고려하여 실제 조건을 모델링해본 이후 시공하는 것이 적절할 것으로 생각된다.

이후 연구과제는 위 결과를 토대로 배기속도에 따른 실내기류 속도와 온도, 농도분포를 예상하고 전체 공간의 기류유동 경로를 파악하여 해석하는 것이다. 여기에 관해서는 추후 더 연구되어야 한다.

## 참고문헌

1. Swierczyna, R. T., et al, 1997, New threshold exhaust flow rates for capture and containment of cooking effluent, ASHRAE Trans. Part 2, pp. 943-949.
2. Smih, V. A. and Donald, J. D., 1997, Minimum energy kitchen ventilation for quick service restaurants, ASHRAE Trans. Part 2, pp. 950-960.
3. Kim, K. H. et al, 2000, Prediction of the ventilation performance in a kitchen with various locations of gas range and window, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 75-82.
4. Kim M. J., 2000, A performance of concentration airing kitchen ventilation system by shift a supply diffuser position, Air-Conditioning and Refrigeration Eng. '2000 Summer Annual Conference, pp. 626-631.
5. Choi, S. H., 2002, An approach for improving natural ventilation performance in a unit plan of apartment house, MS thesis, Sungkyunkwan University, Korea.
6. Kim, K. H. and Lee, E. K., 2003, A study on the ventilation effectiveness of mechanical ventilation system in apartment buildings, SAREK '2003 Winter Annual Conference, pp. 537-542.
7. Lee, J. K. et al, 2004, A study on the ventilation system applicable to existing apartment house, Proceedings of the SAREK '2004 Summer Annual Conference, pp. 201-206.
8. Park, J. C. et al, 2005, A study on the improvement of ventilation performance in apartment house according to the location of exterior air-vents, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No.2, pp. 71-79.
9. Yee, J. J., 1995, Indoor air pollution and ventilation system, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 1-13.

1. Swierczyna, R. T., et al, 1997, New