

제 3 종 하이브리드 환기시스템을 적용한 공동주택의 환기성능 예측

황 지 현, 오 창 용*, 김 무 현**†

울산대학교 대학원, *(주)케너텍, **울산대학교 기계자동차공학부

A Prediction of Hybrid Ventilation System Performance in Apartment House

Ji-Hyeon Hwang, Chang-Yong Oh*, Moo-Hyun Kim**†

Graduate School of Mechanical and Automotive Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

*KENERTEC Co., Ltd., Seoul 152-050, Korea

**School of Mechanical and Automotive Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

(Received December 19, 2005; revision received May 29, 2006)

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 m³/h. As the results, residents feel comfortable thermally for 60 m³/h. In the case of 120 m³/h, however, residents feel uncomfortable both thermally and in air currents. In this study the energy saving for space heating is also an important factor. In the case of whole region with 180 m³/h, residents feel comfortable at each region of the model apartment. It is shown that this hybrid ventilation system is possible method for the apartment house.

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

1. 서 론

최근 실내환기 규제가 점점 더 엄격해지고 있다. 건설교통부에서 발표한 공동주택 환기기준에서는 2005년부터 신축, 재건축되는 다중이용시설의 경우 적절한 실내공기질을 유지하기 위하여 공동주택의 경우 시간당 0.7회 이상 환기횟수를 규정하고 있으며, 초고층 주상복합건축물이나 100개 이상의 병상 수를 가진 의료기관 등은 기계환

기설비를 갖춰 환기기준을 충족하도록 요구하고 있다.

실내에 위치한 주방환기시스템과 관련하여 1990년대 후반 많은 연구가 이루어졌다.⁽¹⁻⁴⁾ 이들의 연구는 가스레인지가 작동하는 경우 실내 CO₂ 농도분포 및 주방 환기성능에 대해 연구하였다. 그러나 그들은 자연급기가 기존의 창문의 틈새를 통해 이루어지는 것으로 고려하였다.

일반적인 실내 환기시스템 및 환기성능에 관한 연구로서 Choi⁽⁵⁾는 ESP-r 프로그램을 사용하여 실내 전체 공간에 대한 자연환기성능 향상에 대해 조사하였고, Kim et al.⁽⁶⁾은 공동주택 환기시스템의 환기효율에 관해 연구하였다. Lee⁽⁷⁾는 기

† Corresponding author

Tel.: +82-52-259-2128; fax: +82-52-259-1680

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

존 공동주택에 적용 가능한 환기시스템으로 전열교환기를 선택하여 급기와 배기구 거리에 의한 환기효율 및 오염원의 위치에 따른 환기제거효율에 관한 연구를 수행하였다. Park⁽⁸⁾은 실험을 통하여 실외 급·배기구 형상에 따른 환기효율을 비교·분석하였으며, CFD를 통하여 적정 실외 급·배기구 위치를 제안하였다. 실내 전체 공간의 환기나 상시 환기에 관한 연구는 주방이나 욕실 환기에 관한 연구에 비해 아직 미흡한 상황이다.

세 가지 환기방식 중 제3종 환기장치는 배기는 강제기계배기이고 급기는 자연급기구를 통해 이루어진다. 즉, 강제배기에 의한 공간 내 부압차로 외부공기가 자연유입되는 방식인데, 배기력이 뛰어나기 때문에 벽체 내 습기 침투가 어려워 균류 등의 번식이나 내장재의 부식을 방지할 수 있다. 그리고 급기구를 통해 유입되는 공기를 필터링함으로써 공기질을 향상시킬 수 있고 필터교환이 용이하다. 제3종 환기장치인 하이브리드 환기장치는 다른 환기방식에 비해 소요공간도 작고 장치가 간단할 뿐만 아니라 설비 및 유지·보수비용이 저렴하고 에너지를 절약할 수 있다는 장점이 있다.

최근의 초고층 또는 첨단건축물의 경우 높은 단열효과 등을 위해 빌딩의 기밀성능이 크게 향상되고 있다. 이러한 고단열, 고기밀성 건물의 경우 기존과 같은 창문틈새를 이용한 환기해석은 불가능하게 된다. 이러한 변화된 요구에 부합되는 장치가 하이브리드 환기장치이다. 이 시스템의 실제 적용을 위해서는 여러가지 경우와 다양한 영

향요소를 분석하고 예측해 볼 필요가 있다. 이를 위한 선행단계로 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, 속도 분포와 오염물질의 농도분포를 수치해석하여 실내환경기준을 만족하는지의 여부를 확인 후 실제 적용성을 판단하고자 한다.

2. 해석모델

본 논문에서는 Fig.1에서 보는 바와 같이 최근 재건축되고 있는 33평형 공동주택을 대상으로 해석하였다. 전체공간은 3개의 침실과 2개의 욕실, 현관, 거실, 주방으로 구성되어 있다. 주 오염원은 호흡에 의한 CO₂로 가정한다. 기타 오염발생원이 있지만 CO₂가 제거된다면 다른 오염요소들도 함께 제거 가능하다고 여겨지기 때문이다.⁽⁹⁾ 환기시스템의 설치위치는 배기구의 경우 천장에 설치하고 급기구는 창 새시나 발코니 새시의 상부로 하였다.

Fig.2는 거실과 주방 통로 공간을 하나의 실로 단순화하여 나타낸 거실·주방 영역을 보여준다. Fig.2의 해석영역 크기는 6.6m×4.4m×2.4m이며 기준점은 Fig.1에서 보는 바와 같이 거실 왼쪽 상부 코너로 하였으며 하부 욕실방향을 X축, 우측 거실방향이 Y축, 천장방향을 Z축으로 하였다.

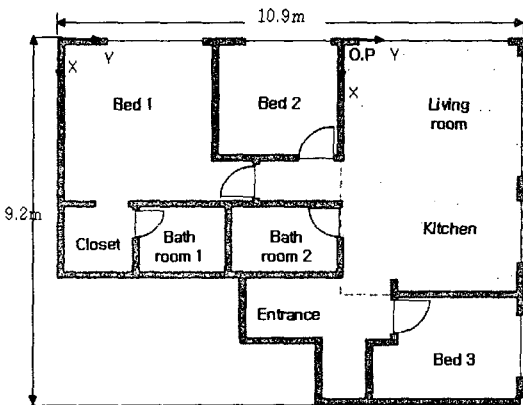


Fig. 1 Plane view of a model apartment.

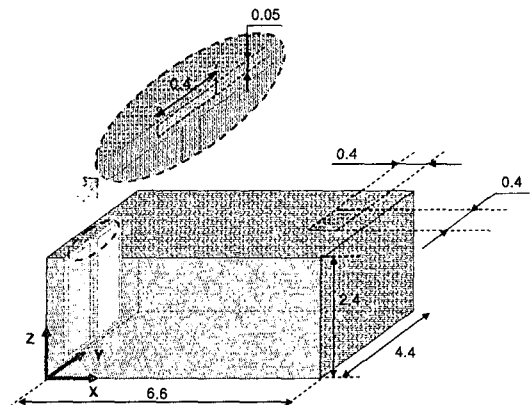


Fig. 2 Schematic diagram of the living room and kitchen area (Unit: m).

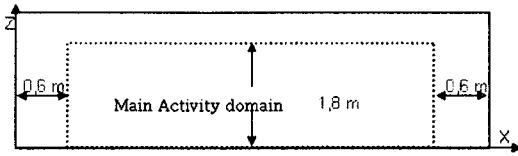


Fig. 3 Main activity region.

Fig. 3은 거실·주방 영역에서 재실자의 주 활동 공간을 나타낸다. 그림에서 주 활동영역은 높이 1.8m 이하, 벽면 근처 0.6m를 제외한 실내공간으로 정의하였는데 이는 성인 평균 신장이 1.8m 이하이고 벽면에는 일반적으로 가구 등이 배치되는 경우가 많기 때문이다. 재실자에게 불쾌감을 주지 않기 위해서는 이 주 활동영역 내에서 가능한 한 온도변화가 적어야 하고 기류속도는 난방기에는 0.15 m/s 이하, 비난방기에는 0.25 m/s 이하가 되어야 한다.

3. 해석 및 경계조건

3.1 해석방법

해석은 33평 공동주택에서 거실·주방 영역과 전체 영역의 2가지 영역에 대해 수행하였다. 자연급기구를 이용한 환기시스템의 성능을 예측하기 위해 실내공기유동, 온도분포 및 CO₂ 농도를 상용 프로그램인 Fluent를 이용하여 구하였으며, 격자는 33×22×24로 구성된 엇갈림격자이고 배기에 의한 강제대류와 온도차에 의한 자연대류가 혼합된 경우로 해석하였다.

사용된 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식, 농도방정식, 난류운동에너지방정식, 그리고 난류운동에너지소산방정식이다. 해석영역은 바닥난방에 의한 상승공기와 외부에서 유입된 차가운 공기를 포함하므로 난류와 자연대류가 혼합된 형태로 생각하였다. CO₂ 농도의 경우 그 양이 소량이므로 공기의 거동을 따른다고 가정하였고, 지배방정식은 비정상상태로 해석하였다. 난류운동에너지 및 난류운동에너지소산방정식에 사용된 $k-\epsilon$ 값은 상용 프로그램의 기본조건과 $k=1.5(0.1V)^2$, $\epsilon=C_{\mu}k^{1.5}/(0.5D_h)$ 를 이용한 값을 비교해 본 결과 큰 차이가 없었기 때문에 해석조건에 사용된 속도값과 수력반경을 이용한 후자의 값을 사용하였다.

3.2 경계조건

3.2.1 환기조건

배기장치는 천장에 위치시켰으며 급기구는 거실의 전면성 확보와 동시에 외기를 도입할 수 있는 발코니 상부에 설치하였다. 겨울철에는 극심한 실내·외 온도차로 인하여 환기를 위해 외부 공기를 유입할 경우 재실자가 불쾌감을 느끼게 되므로 자연환기를 할 때는 상당한 주의가 요하게 된다. 그러므로 이 연구에서는 자연환기를 적용하기 어려운 조건인 겨울철, 외기가 낮고 바닥난방이 실시되는 경우에 대해 해석하였다.

거실·주방 영역 해석에서는 최소 규제 환기량은 48.8 m³/h이므로 실제 공기유동에 의한 적절한 환기가 이루어지는 급·배기량을 알아보기 위하여 거실의 풍량을 30, 60, 120 m³/h로 변화시켰으며, 이에 따른 각각의 배기속도는 0.052, 0.104, 0.208 m/s이다. 전체 영역 해석에서 요구환기량은 180 m³/h이다. 이 수치를 바탕으로 욕실 1, 2에서 각각 30 m³/h로 배기되고 거실에서 120 m³/h 배기가 이루어지는 것으로 하였다.

급기의 경우 별도 기계장치가 아닌 크기 0.4 m × 0.05 m의 자연급기구를 6곳의 창틀 중앙에 배치시켰다. 전체 영역에서 각 공간에 위치한 출입문 하부의 루버를 통해 주거공간의 공기가 배출될 수 있도록 하였다. 이 모델은 발코니 영역을 분리시키지 않고 급기부가 외기에 접한 경우로 해석하였다.

3.2.2 온도 및 농도조건

실내온도는 겨울철 적정온도에 해당하는 297 K, 바닥 난방온도는 300 K, 외기는 263 K로 설정하였다. CO₂의 경우 다중이용시설 실내환기기준에서 제시하는 1,000 ppm보다 높은 1,500 ppm으로 설정하였다. 이는 사람의 호흡에 의해 발생하는 CO₂ 농도가 거주인원 1인당 약 500 ppm인 것을 기준으로 3인에 의해 오염된 실내를 초기조건으로 설정하였다. 유입공기의 CO₂ 농도는 일반 대기의 CO₂ 농도인 300 ppm을 사용하였다.

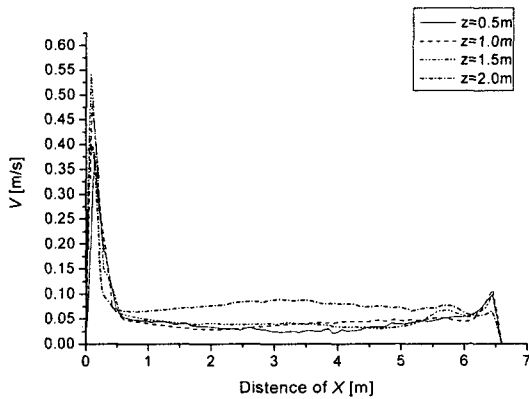
4. 해석결과 및 고찰

4.1 거실·주방 영역

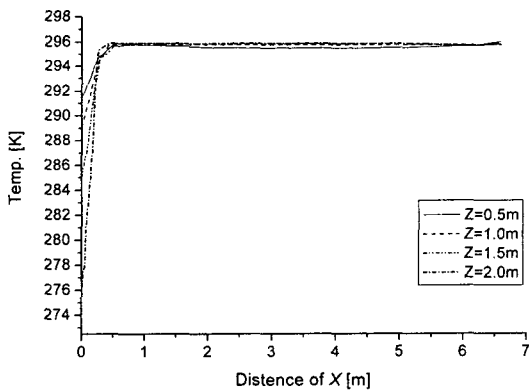
다중이용시설환기규제법에서 제안된 최소 환기

량 0.7회/h를 기준으로 거실영역의 환기량을 약 40% 감소시킨 값인 30 m³/h 풍량으로 환기한 경우는 Fig. 4와 같다. 이 그림은 Fig. 1에서 거실 상부에 유리창이 있고 유리창의 중앙 위치(X=0, Y=2.2 m)에서 설정된 X-Z 평면상의 유속, 온도 및 농도분포를 보여준다. 속도분포를 살펴보면 유입공기의 속도는 대부분의 주 활동영역에서 0.1 m/s 이하이다. 난방기 실내기류 속도가 0.15 m/s

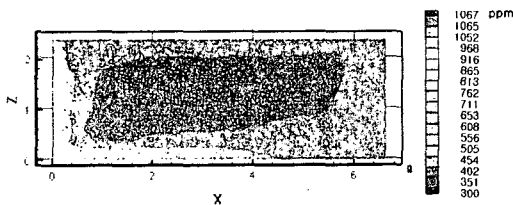
이하이면 재실자에게 불쾌적인 기류를 제공하지 않는 상태이며, 벽면에서 0.5 m 지점까지는 기류 변화의 폭이 기준치보다 높더라도 비활동영역이므로 큰 문제가 되지 않는다. 그러므로 주 활동영역의 기류속도분포는 적정한 수준이라고 사료된다. Fig. 4(b)의 온도분포의 경우 실내온도는 297 K, 난방온도는 300 K로 설정하였는데 외부의 263 K인 공기가 유입된 것을 감안할 때 1 K 정도의



(a) Velocity

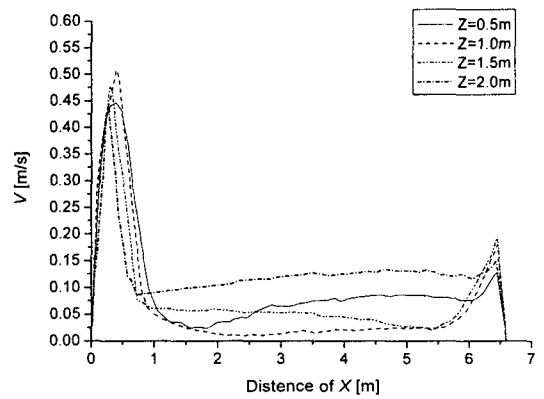


(b) Temperature

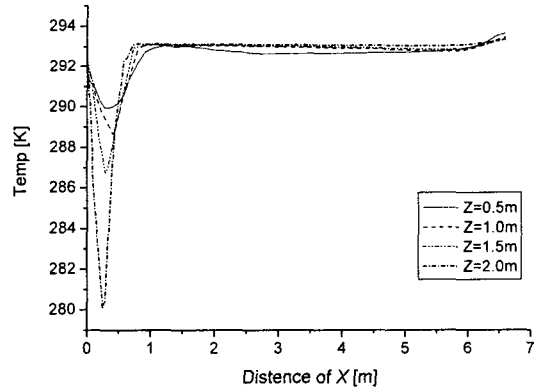


(c) Concentration of CO₂ at 60 min

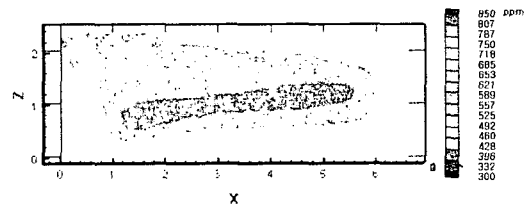
Fig. 4 Velocity, temperature and concentration in the living room & kitchen area at 30 m³/h and Y=2.2 m.



(a) Velocity



(b) Temperature



(c) Concentration of CO₂ at 60 min

Fig. 5 Velocity, temperature and concentration in the living room & kitchen area at 60 m³/h and Y=2.2 m.

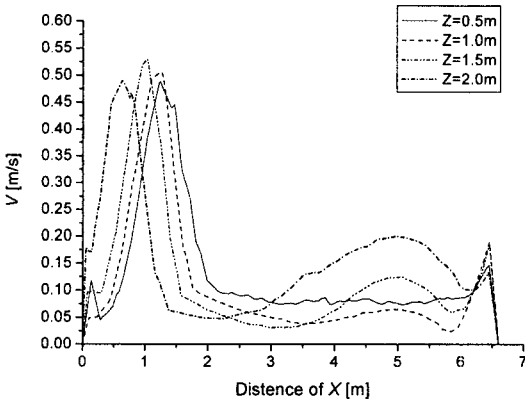
온도감소는 큰 변화는 아니다. 주 활동영역에서의 온도변화가 없으므로 30 m³/h 풍량은 실제 적용 가능한 시스템이라 할 수 있다. 그러나 Fig. 4 (c)의 결과에서 보는 바와 같이 1시간 경과 후 실내 평균 CO₂ 농도는 1,100 ppm으로 나타나 규제치인 1,000 ppm을 상회하였다.

Fig. 5는 최소 환기량보다 약 20% 증가시킨 60

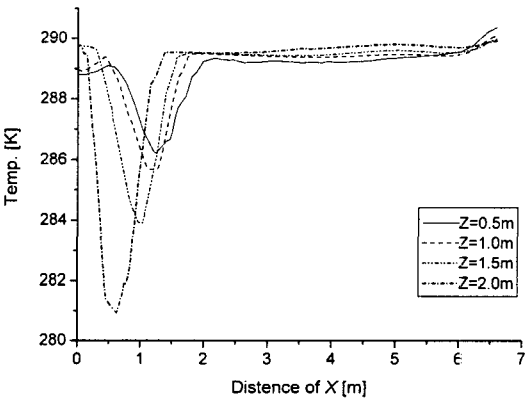
m³/h로 배기한 경우이다. 속도분포 결과에서(Fig. 5(a)) 실내기류 속도분포는 급기구 근처를 제외한 주 활동영역에서 0.15 m/s 이하로 나타났고 Z=1.8m 이내의 활동영역에서는 0.5m/s 이하로 나타나 재실자가 쾌적함을 느낀다. Fig. 5(b)에서 온도분포는 생활공간영역에서 거의 일정하게 나타났고 수직방향에 대해서도 0.5 K 이하의 온도차를 보였다.

다만 실내환기유량으로 인하여 실내온도가 293 K로 나타났으며 겨울철 실내난방온도인 297 K를 유지하기 위해서는 바닥난방온도를 높여 줄 필요가 있다. 한편 실내 CO₂ 농도는 Fig. 5(c)에서 보는 바와 같이 1시간 경과시 800 ppm으로 기준량 이하를 만족하고 있다.

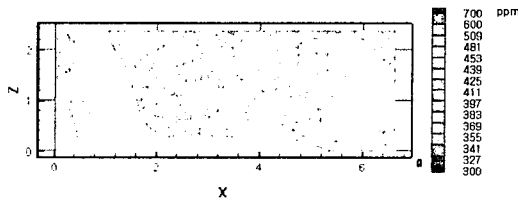
Fig. 6은 풍량을 충분히 주어 120 m³/h로 배기한 경우이다. 이 경우 Fig. 6(c)의 CO₂ 농도는 급격히 감소하여 환기 측면에서는 가장 최상의 결과이지만, Fig. 6의 (a), (b)에서 보는 바와 같이 실내온도분포와 속도분포 면에서는 재실자에게 불쾌감을 주는 결과를 초래하므로 실제 적용하기에는 부적합할 것으로 판단된다.



(a) Velocity



(b) Temperature



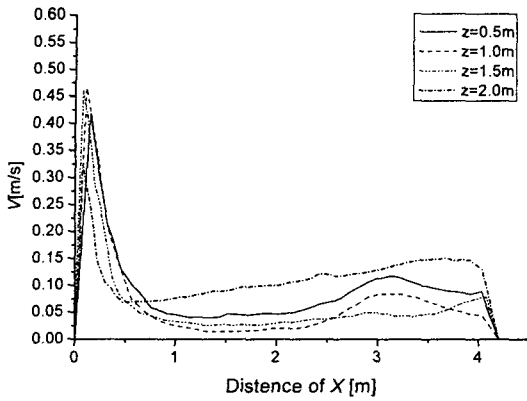
(c) Concentration of CO₂ at 60 min

Fig. 6 Velocity, temperature and concentration in the living room & kitchen area at 120 m³/h and Y=2.2m.

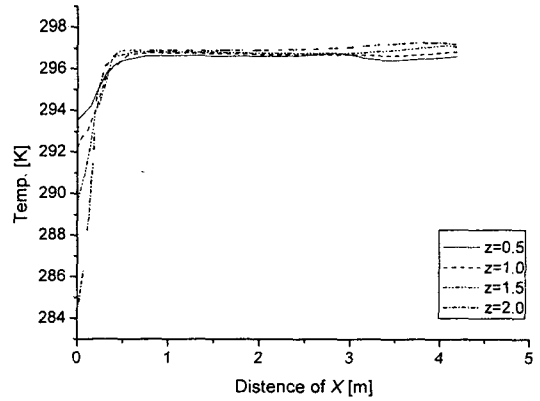
4.2 전체영역

공동주택 실내 전체 영역에 대한 해석의 경우 전체 배기량은 180 m³/h이며, 배기는 욕실1, 욕실2, 거실 등 3곳에서 이루어진다. 전체 영역에 대한 실내온도 및 농도조건은 거실·주방 영역 해석의 경우와 동일하게 하였다.

Figs. 7~10은 1시간 후 공동주택 전체 영역에 대한 해석결과이다. 모든 그림은 높이방향(Z방향)으로 4곳, 즉 Z=0.5, 1.0, 1.5, 2.0m에서의 값을 나타낸다. 침실1, 침실2 및 거실은 상부 유리창의 중앙위치에서 설정된 X-Z 평면상의 유속 및 온도분포를 나타낸다. 반면 침실3은 유리창이 우측 벽에 존재하므로 유리창 중앙위치에서 Y축의 음의 방향을 따라 설정된 Y-Z 평면상의 유속 및 온도분포이다. 따라서 모든 그림의 좌측 끝단에 자연급기구가 위치하고 있다. Fig. 7은 침실1에 대한 결과로서 본 해석조건에서 주 활동영역은 유속분포 면에서 쾌적하게 나타났으며, 열적으로는 전체 실내 중 가장 높은 온도를 보이고 있다. 침실2(Fig. 8)의 경우는 하부에 약간의 높은 유동이 관찰되고 있는데, 이는 욕실2 및 거실주방에 위

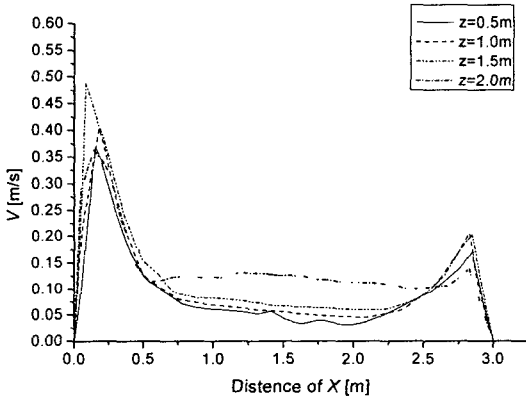


(a) Velocity

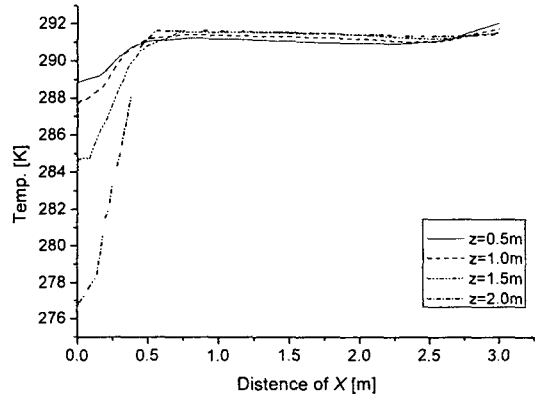


(b) Temperature

Fig. 7 Velocity and temperature of a bed-room 1.

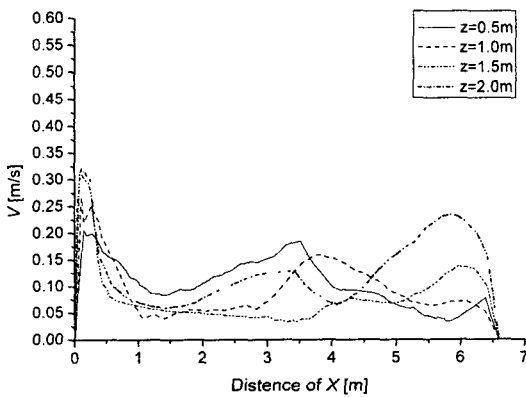


(a) Velocity

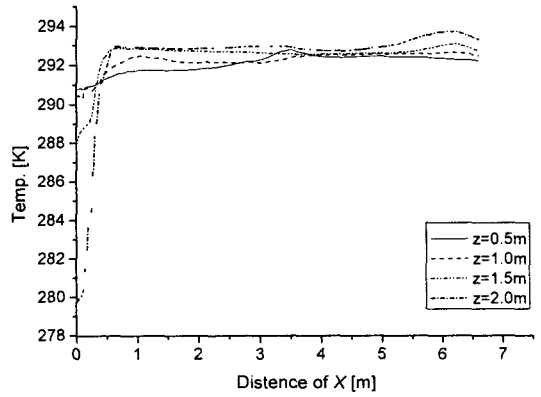


(b) Temperature

Fig. 8 Velocity and temperature of a bed-room 2.



(a) Velocity



(b) Temperature

Fig. 9 Velocity and temperature of a living-room & kitchen.

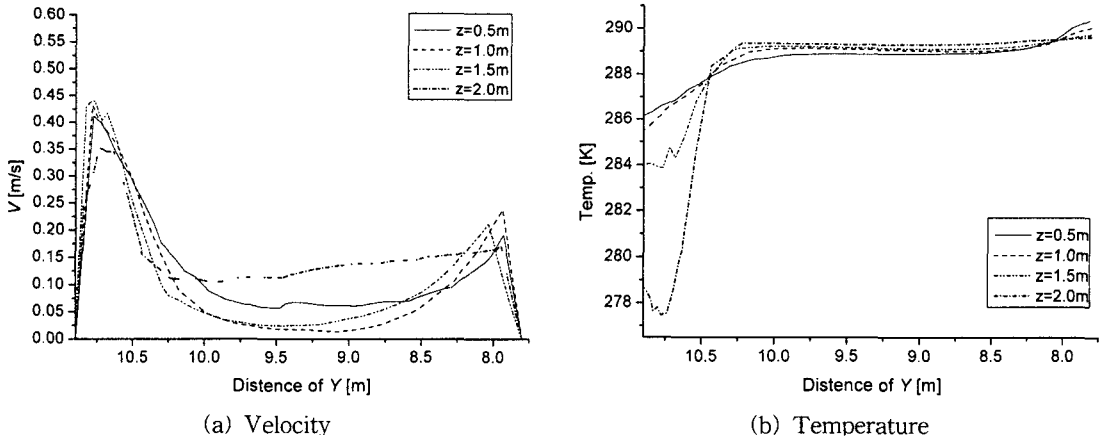


Fig. 10 Velocity and temperature of a bed-room 3.

치한 배기구의 영향으로 인한 결과라고 볼 수 있다. 한편 Fig. 9는 거실-주방 영역에 대한 결과를 보여준다. 실내유속을 살펴보면 높이방향 및 X방향에 따라 변화를 보이고 있는데, 이는 거실 천장의 배기구 외에 욕실1, 욕실2의 배기구와 3곳의 급기구의 영향 때문으로 판단된다. 실내온도분포는 약 293 K로 나타나 환기량 60 m³/h일 때의 거실-주방의 열적 상태(Fig. 5)와 비슷하였다. Fig. 10은 침실3에 대한 결과로서 유속분포는 우측단에서 제법 높게 나타나고 있으며 온도분포 역시 전체 영역 가운데 가장 낮은 값을 보이고 있다. 이는 거실영역의 큰 배기량으로 인해 가장 인접한 곳에 위치하여 기류속도가 다소 증가하면서 발생한 현상이다. 이를 개선하기 위해서는 외부와 접하는 자연급기구를 두지 않고 전체 공간과 기류를 교환할 수 있는 기류통로를 확보하는 방안

이 있을 수 있다. Fig. 11은 모델 아파트 내 각 구역에 대한 평균 농도를 보여주고 있다. 그림에서 0.5m는 재실자가 앉은 자세일 때의 호흡선 높이를, 1.5m는 선 자세일 때의 호흡선 높이를 나타낸다. 기류속도가 빠른 침실2 및 침실3의 평균 CO₂ 농도가 낮게 나타나고 있으며 침실1이 가장 오염도가 높은 것으로 나타난다. 환기 면에서는 침실2 및 침실3의 결과가 이상적이나 기류속도와 온도변화 면에서 주의를 기울일 필요가 있다. 그림에서 침실1의 경우 다른 영역에 비하여 CO₂ 농도가 높지만 규제농도 이하를 유지하고 있다.

5. 결 론

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

(1) 환기량이 30 m³/h 및 60 m³/h 경우 주 활동 영역에서의 온도변화는 재실자에게 불쾌감을 유발하지 않으나 120 m³/h 경우 유입공기의 속도가 재실자의 주 활동영역에서 0.15m/s를 넘어서기 때문에 불쾌감을 유발하게 된다. 환기에 따른 실내온도 저하에 있어서 30 m³/h와 비교했을 때 14 % 이상이 되므로 에너지 손실이 우려된다.

(2) 60 m³/h의 경우 속도와 온도변화 면에서 적절한 결과를 나타내고 있다. 오염물질의 제거 면에서도 기준환기량을 만족하는 성능을 나타내었다.

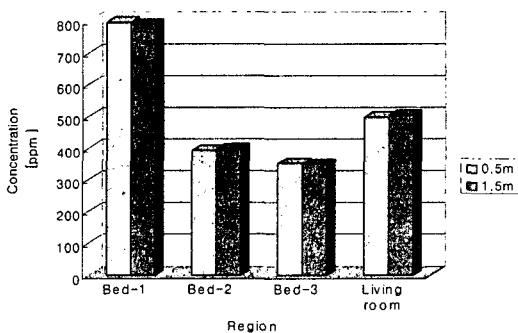


Fig. 11 Mean concentrations at each region of a model apartment.

(3) 급기구 근처에서는 유입공기에 의한 유동이 존재하나, 주 활동영역에서는 바닥난방과 벽면에 의한 자연대류현상이 더 강하게 나타나 외기도입에 의한 실내온도의 급격한 변화는 일어나지 않았다.

(4) 전체 영역 해석결과 거실과 각 방에 설치된 자연급기구를 이용하고 화장실과 거실의 배기만으로도 환기가 원활히 이루어졌다. 그러나 본 연구의 조건에서 침실3의 경우 실내온도분포가 다소 낮게 나타났다.

후 기

이 논문은 2005학년도 울산대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- Swierczyna, R. T., Smith, V. A. and Ferdinand, J. D., 1997, New threshold exhaust flow rates for capture and containment of cooking effluent, ASHRAE Trans. Part 2, pp. 943-949.
- Smith, V. A. and Donald, J. D., 1997, Minimum energy kitchen ventilation for quick service restaurants, ASHRAE Trans., Part 2, pp. 950-960.
- Kim, K. H., Lee, J. H., Park, M. S. and Lee, D. W., 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.
- 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.
- Choi, S. H., 2002, An approach for improving natural ventilation performance in a unit plan of apartment house, MS thesis, Sungkyunkwan University, Korea.
- 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.
- Lee, J. K., Park, J. C. and Rhee, E. K., 2004, A study on the ventilation system applicable to existing apartment house, Proceedings of the SAREK '2004 Summer Annual Conference, pp. 201-206.
- Park, J. C., Yu, H. K. and Cha, J. Y., 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.
- Yee, J. J., 1995, Indoor air pollution and ventilation system, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 1-13.