Journal of Korean Society for Atmospheric Environment
Vol. 31, No. 4, August 2015, pp. 385-395
DOI: http://dx.doi.org/10.5572/KOSAE.2015.31.4.385
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346

창호일체형 환기시스템 및 중앙냉방시스템 연계 운영에 대한 수치해석적 연구

Numerical Analysis on the Coupled Operation of Ventilation Window System and Central Cooling System

박 동 윤 · 장 성 주*
한국과학기술원 건설 및 환경공학과

(2015년 5월 28일 접수, 2015년 7월 15일 수정, 2015년 8월 3일 채택)

Dong Yoon Park and Seongju Chang*
Department of Civil and Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

(Received 28 May 2015, revised 15 July 2015, accepted 3 August 2015)

Abstract

This study evaluated indoor environmental characteristics in an office room equipped both with ventilation window system and central cooling system. Fresh air is supplied only by the central cooling system whereas indoor air is discharged outside through both ceiling diffuser and a ventilation window system. Numerical study is conducted by changing the volumetric flow rates of exhaust ports of each system. For estimating the performance of this coupled system, CO_2 concentration and Predicted Mean Vote (PMV) were calculated using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation. The more the ceiling diffuser exhausts indoor air, the more the CO_2 concentration decreases. However, when the ventilation window system exhausts more indoor air, thermal comfort level gets improved in the office room with cooling system. Therefore, when the ventilation window system is operated, the coupled operation with central cooling system should be considered for enhancing indoor air quality and thermal comfort, together.

Key words : Ventilation window system, Cooling system, Thermal comfort, Indoor air quality, Computational fluid dynamics (CFD)

1. 서 론

사회가 발달함에 따라 현대인의 대부분이 하루의 80% 이상을 실내에서 생활하고 있다. 이로 인해 건물의 에너지 소비량은 증가하는 추세에 있으며, 냉 · 난방을 위해 사용하는 에너지는 건물이 소비하는 에너지의 약 40%에 이른다(Perez-Lombard *et al*., 2008; Wyon, 2004). 현재 국내에서는 건물 에너지 절약을 위해 단열 및 기밀 성능 향상을 위한 노력을 하고 있지만 이러한 기술들은 오히려 실내 환기량 부족에 대한 원인으로 이어지고 있다(Lee *et al*., 1995). 면역체계가 취약한 어

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)42-350-3627, E-mail : schang@kaist.ac.kr

린이, 노인 및 장애인의 건강에 대한 관심이 증가하고 있고, 특히 두통, 현기증, 후두염 등의 증상을 호소하는 빌딩증후군(Sick Building Syndrome; SBS) 환자가 증가함에 따라 주거용 및 사무실 건물의 에너지 절약뿐만 아니라 쾌적한 실내공기질을 유지하는 것이 더욱 중요시되고 있다(Lee *et al*., 2013a; Burge and Hoyer, 1990). 이러한 폐해를 줄이기 위해 대부분의 건물에서는 팬을 이용하여 실내 공기를 환기시키는 기계환기 시스템을 사용한다. 그러나 실내 공기환경은 급기구 및 배기구의 위치, 실내 기류 형태, 송풍량, 실내형상 등에 따라 결정되므로 에너지 절약을 위해서는 환기시스템의 효율적인 이용이 필요하다. 이를 위해 국내외에서는 에너지 소비를 최소화하는 동시에 실내의 열적 쾌적성과 공기질을 적절히 유지시킬 수 있는 다양한 형태의 환기시스템을 개발하고 있다. 이 중에서도 창호형 환기시스템은 기존 창에 환기시스템을 통합하여 창문을 닫은 상태에서도 상시 연속 환기가 용이하며, 개별제어가 가능하므로 에너지 저감에도 효과적인 것으로 알려져 있다(Lee *et al*., 2013b). 또한 창호의 창틀에 설치되어 덕트 연결이 필요하지 않으므로 덕트 오염의 우려가 없고, 공간 활용에 유리하기 때문에 공동주택에 적극적으로 도입되는 추세이다(Chang and Kim, 2011).

창호시스템에 대한 연구들은 대부분 유리구성과 프레임 재료에 따른 단열성능과 결로 발생 특성을 중심으로 진행되었다(Gläser and Ulrich, 2013; Jeong *et al*., 2013; Van Den Bergha *et al*., 2013; Werner and Roos, 2007; Oreszczyn *et al*., 1989). 최근에는 환기량 부족에 따른 실내 습도 증가로 국소환기 및 개별제어가 가능한 창호일체형 환기시스템 연구가 증가하고 있다(Kim *et al*., 2011; Kim *et al*., 2006). 창호일체형 환기시스템을 운영하기 위해서는 일정한 급기량을 확보하는 것이 필수적인데, 자연환기와 보조 배기팬을 혼합하여 이용하는 방식이 주를 이루고 있다(Kim *et al*., 2006). 또한 필요환기량을 안정적으로 확보하기 위해 창호일체형 환기시스템 내부에 급 · 배기 팬 및 전열교환기를 설치하고 이를 통해 공동주택의 환기성능을 검토한 연구들도 제시되고 있다(Sung *et al*., 2012; Chang and Kim, 2011). 하지만 이러한 창호시스템에서는 창호 표면에서 발생하는 자연대류에 의해 급 · 배기 팬 주위의 공기유동이 교란되어 환기효율이 떨어지기 때문에 실내공기질뿐만 아니라 열적 쾌적성 모두 저하될 수 있다. 더욱이 창호일체형 환기시스템은 국소환기에는 효과적이나 창문과의 거리가 먼 공간에는 신선한 공기를 제공하기 어렵다. 또한 일반적으로 냉방 시스템은 전부 전력에너지를 사용하고, 빌딩 전체 전력사용량의 50～66%가 냉방을 위해 사용되기 때문에(Hwang *et al*., 2012; Kim and Lee, 2005) 실내 특성을 고려하여 창호일체형 환기시스템과 중앙냉방 시스템의 연계 운영방안에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 중앙냉방 시스템이 설치된 개인 사무실을 대상으로 창호일체형 환기시스템을 적용할 경우 실내환경을 예측하기 위해 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics; CFD)을 이용한 3차원 수치해석을 수행하였다. 이를 통해 사무실 내의 급기량이 같은 조건에서 창호일체형 환기시스템과 중앙냉방 시스템의 배기율을 변화시켰을 경우 사무실의 실내환경을 평가하고 두 시스템의 효율적인 연계 운영방안을 제시하고자 하였다.

2. 연구 대상 및 방법

수치해석 대상으로는 소규모 사무실 수준의 공간을 모사하여 해석을 수행하였으며, 기존 문헌의 모델을 이용하였다(Park and Chang, 2014). 해당 공간의 형상과 내부 조건은 그림 1에 나타내었다. 사무실의 전체 크기는 4.01 m (L) × 6.65 m (D) × 2.70 m (H)이며, 중앙

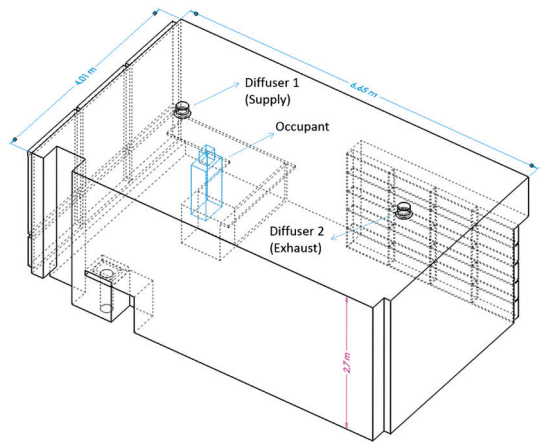

Fig. 1. Configuration of the test office room.

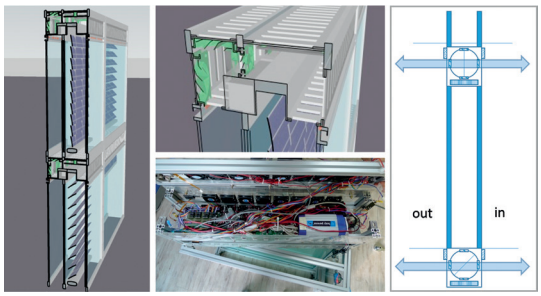

Fig. 2. The schematic designs and the components of the ventilation window system.

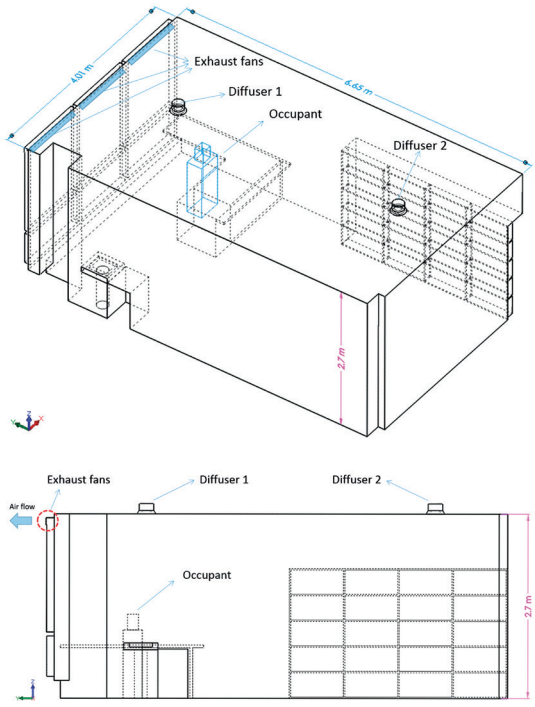

Fig. 3. Configuration of the test office room with the ventilation window system.

냉방 시스템을 통해 실내 환경을 조절한다. 천장에는 두 개의 디퓨져가 설치되어 있으며, 이 중 급기구는 창문에 가까운 지점에, 배기구는 창문과 먼 지점에 설치되어 있다. 본 연구에 적용하고자 하는 창호일체형 환기시스템은 그림 2에 나타내었으며, 급 · 배기 팬과 전열교환기는 창호의 위 아래 끝에 각각 설치되어 있다. 수치해석을 위해서 창호일체형 환기시스템은 그림 3과

Table 1. Test cases.

	The ratio of volumetric flow rate of exhaust air	
	Diffuser on the ceiling	The ventilation window system
Case 1	1	0
Case 2	0.75	0.25
Case 3	0.5	0.5
Case 4	0.25	0.75
Case 5	0	1

같이 사무실 공간에 적용하였으며, 냉방 시 창문 윗부분의 팬만 배기구로 가동하는 것으로 정하였다. 이는 창호일체형 환기시스템의 위쪽 팬으로 배기구를 가동하는 것이 위로 상승하는 실내의 더운 공기를 제거하는 데 효과적이기 때문이다.

표 1은 사무실에서 천장 배기구를 이용한 배기량과 창호일체형 환기시스템을 이용한 배기량의 비율을 나타낸 것이며, 5가지의 경우를 대상으로 연구를 수행하였다. Case 1은 천장의 배기구만 이용하여 실내 공기를 배출하고, 창호일체형 환기시스템은 운영하지 않는 경우이다. Case 2부터 Case 4로 갈수록 창호일체형 환기시스템을 통해 배기되는 비율이 증가하도록 하였으며, Case 5에서는 창호일체형 환기시스템으로만 실내 공기를 배출하도록 하였다. 이때 각 Case들 모두 총 급기량과 배기량은 1 ACH로 일정하게 유지하였다. 또한 사무실 천장에 설치된 두 개의 디퓨져에 대해 급기구와 배기구의 위치를 기존과 달리 위치를 바꾸어 시뮬레이션을 수행하였으며, 이는 실내 냉방 시 열원 근처 또는 윗부분에 배기구를 설치하는 것이 열적 쾌적성에 도움이 되므로 이를 고려한 것이다.

사무실 공기의 유동특성을 기술하는 정상상태 지배방정식은 표 2에 나타내었으며 연속 방정식, 운동량 방정식, 열에너지 방정식, 질량 확산 방정식, 난류 운동에너지 방정식, 난류 운동량 소산율 방정식이다(Patankar, 1980). 본 연구에서는 수치해석을 위해 표준 k-ε 난류 모델을 사용하였으며, 실내 공기의 부력효과를 운동량 방정식의 소스항으로 포함시켰다. 수치해석을 위한 경계조건은 표 3에 나타내었다. 위의 지배방정식들을 풀기 위해 CD-adapco 사의 상용 CFD 코드인 STAR-CCM＋를 이용하였다. 지배방정식의 계산을 위해 SIMPLE 알고리즘을 사용하였으며(Versteeg and Mala-

Table 2. Governing equations and model coefficients.

Continuity equation	$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i)=0$
Momentum equation	$\frac{\partial}{\partial x_j}\rho u_j u_i=-\frac{\partial P}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\mu_t)\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\right]+S_{u_i}$
Energy equation	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\frac{\mu}{\sigma_l}+\frac{\mu_t}{\sigma_t}\right)\frac{\partial T}{\partial x_j}\right]+S_T$
Mass diffusion equation	$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(\frac{\mu}{\sigma_l}+\frac{\mu_t}{\sigma_t}\right)\frac{\partial C}{\partial x_i}\right]+S_C$
Turbulent kinetic energy equation	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\frac{\mu+\mu_t}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right)+G_k-\rho\varepsilon\right.$
Dissipation rate equation of Turbulent kinetic energy	$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\mu+\mu_t}{\sigma_k}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right)+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}G_k-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}-\rho R$
	where, $\mu_t=\rho C_\mu\frac{k^2}{\varepsilon}, G_k=\mu_t\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\frac{\partial u_j}{\partial x_i}, R=C_\mu\frac{\eta^3(1-\eta/\eta_0)}{1+\beta\eta^3}$ $\eta=\frac{Sk}{\varepsilon}, S=(2S_{ij}S_{ij})^{1/2}, S_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$ $C_\mu=0.0845, C_{1\varepsilon}=1.42, C_{2\varepsilon}=1.68$ $\sigma_k=0.719, \sigma_\varepsilon=0.719, \sigma_l=1.0, \sigma_t=1.0, \beta=0.012, \eta_0=4.38$

Table 3. Boundary conditions for numerical calculation.

Inlet :	$k_{in}=\frac{3}{2}(u_{in}I)^2, \varepsilon_{in}=C_\mu^{3/4}k^{3/2}l, I=0.1, l=0.5D_h$
Outlet:	$\frac{\partial\phi}{\partial x_j}=0$
Wall :	$\frac{\partial\phi}{\partial n}=0$

where D_h is the width of inlet.

Table 4. Properties of air and CO_2 for numerical calculation.

	Air	CO_2
Dynamic viscosity [N · s/m^2]	1.85×10^{-5}	1.49×10^{-5}
Molecular weight [kg/kmol]	28.97	44.01
Specific heat [J/kg · K]	1007	851
Thermal conductivity [W/m · K]	2.36×10^{-2}	1.66×10^{-2}

lasekera, 2007; Patankar, 1980), 반복 계산 시 해의 수렴정도를 판단하기 위해 각 격자에서 잔차의 합이 모두 10^{-4} 이하에 도달하면 수렴된 것으로 판단하였다. 수치해석 모델의 격자는 약 1300만 개의 비균일 격자로 구성하였다. 이때 공기와 CO_2는 이상기체로 가정하였으며, 수치해석을 위해 사용한 공기와 CO_2의 물성치는 표 4에 나타내었다.

사무실의 실내환경을 평가하기 위한 지표로는 CO_2 농도와 예상평균온열감(Predicted Mean Vote; PMV), 수직 온도차를 이용하였다. CO_2는 급기구에서 공급되는 공기와 재실자의 호흡을 통해 실내로 전파되며, 실내 기준은 1000～1200 ppm이다(ASHRAE, 2013). PMV는 인체의 대사율, 의복의 열저항값, 건구온도, 평균복사온도, 기류속도, 습도에 대한 정보를 종합적으로 고려하여 인체가 느끼는 열적 쾌적성을 정량화시킨 지표를 의미한다(ISO 7730, 2005, 1994). PMV는 식(1)로 나타낼 수 있으며, 일반적으로 열적으로 쾌적한 상태를 −0.5에서 +0.5 사이인 경우로 규정한다.

$$PMV=[0.303\exp(-0.036M)+0.028]L \quad (1)$$

where

$$\begin{aligned}L=&(M-W)-3.05\times10^{-3}[5733-6.99(M-W)\\&-p_w]-0.42[(M-W)-58.15]-1.7\\&\times10^{-5}M(5867-p_w)-0.0014M(34-T_a)\\&-3.96\times10^{-8}f_{cl}[(T_{cl}+273)^4-(T_r+273)^4]\\&-f_{cl}h_c(T_{cl}-T_a)\end{aligned}$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl}\{3.96 \times 10 - 8 f_{cl} [(T_{cl}+273)^4 - (T_r+273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)\}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} & \text{for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v} \\ 12.1\sqrt{v} & \text{for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.0 + 1.29 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \le 0.078\ m^2 °C/W \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0.078\ m^2 °C/W \end{cases}$$

이때 M은 인체의 대사율(W/m^2), W는 외부일(W/m^2), I_{cl}은 의복의 열저항($m^2 °C/W$), f_{cl}은 착의 시 피부 노출 면적 비율, T_{cl}은 의복 표면온도(°C), T_a은 공기온도(°C), T_r은 평균 복사온도(°C), p_w는 수증기분압(Pa), h_c는 대류열전달계수($W/m^2 °C$), v는 풍속(m/s)를 의미한다.

실내가 열적으로 쾌적한 상태로 판단되더라도 높이에 따른 온도차가 큰 경우, 재실자는 열적 불쾌감을 느낄 수 있다. 이에 앉아 있는 재실자의 발목(바닥 위 0.1 m)에서 머리(바닥 위 1.1 m) 사이 수직 온도차를 살펴보았으며, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)에서는 쾌적 조건을 3°C 이하로 명시한다(ASHRAE, 2013).

3. CFD 모델 타당성 검증

CFD 모델의 타당성을 검증하기 위해 Park *et al.* (2014)에 의해 수행된 실험을 토대로 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 4에 나타난 것과 같이 측정 위치는 세 곳이며, 실내온도, 바닥에서부터 수직방향으로의 기류속도, CO_2 농도를 각각 비교하였다. 수행된 실험에서는 중앙냉방 시스템의 급기구에서 26.6°C의 공기를 13.7 ACH의 풍량으로 공급하였으며, 이때 창문 표면의 온도는 26.7°C, 급기의 CO_2 농도는 350 ppm로 측정되었다. 본 연구 모델인 사무실 공간의 입실 인원은 한 명이지만 실험을 수행하는 동안에는 측정을 보조하기 위해 한 명이 추가적으로 입실하였다. 두 명의 인원에 대한 체온 및 CO_2 배출량은 키와 몸무게를 고려하여

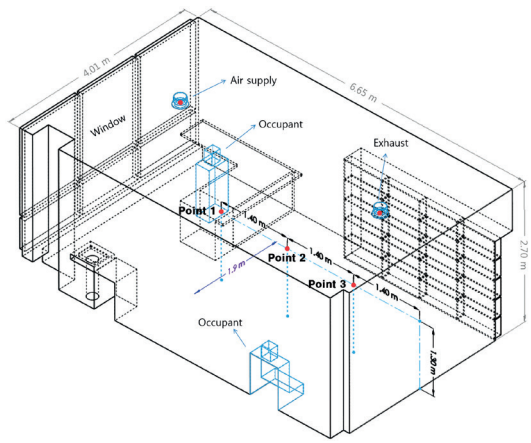

Fig. 4. Locations of the measuring points in the test office room.

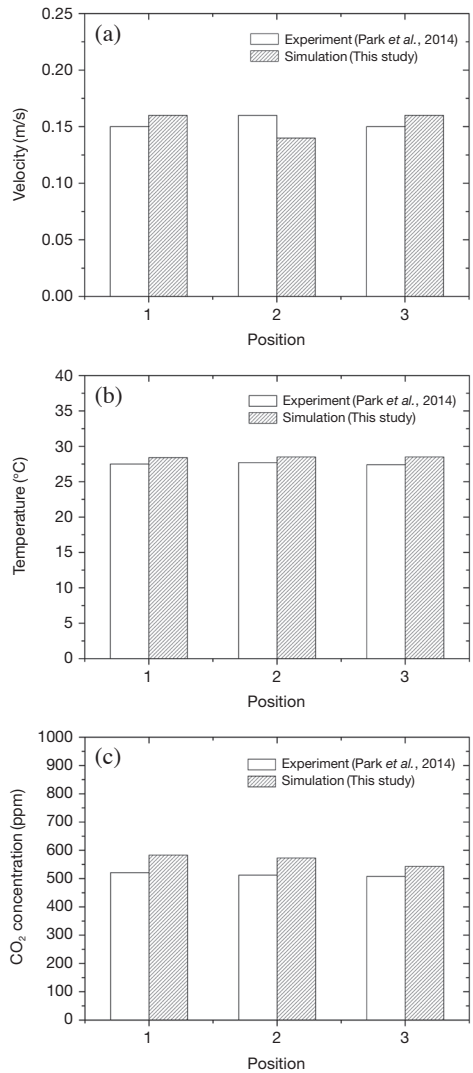

Fig. 5. Comparison of the measurement and numerical results at the target points. (a) Velocity, (b) Temperature, (c) CO_2 concentration.

ASHRAE의 기준을 참고하였다(ASHRAE, 2013). 그림 5는 실험결과와 CFD 모델의 계산 결과를 비교한 그래프이다. 실내온도, 기류속도, CO_2 농도 값 모두 약 10% 내외의 오차를 보이며, CFD 시뮬레이션 결과가 실험결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

4. 수치해석 결과

그림 6은 냉방 시 사무실 바닥에서부터 1.1 m 높이, 재실자로부터 1.5 m 반경 내, 그리고 사무실 전체 공간의 CO_2 평균농도를 각각 나타낸 그래프이다. 각 Case 별 급기량이 같은 경우에 창호일체형 환기시스템의 배기량이 천장의 배기구로의 배기량보다 많아질수록 실내 CO_2 농도는 증가하는 것으로 나타났다. 그림 7을 살펴보면 Case 1～4의 경우, 냉방 시 재실자가 내쉰 CO_2는 체온에 의해 천장으로 상승하여 천장의 배기구로 직접 배출되지만 천장 배기구의 배기량이 감소할수록 천장으로 직접 배기되지 못한 CO_2가 실내 순환기류에 의해 급기구 주변으로 모여 CO_2 농도가 증가함을 알 수 있다. Case 5의 경우도 마찬가지로 천장의 배기구가

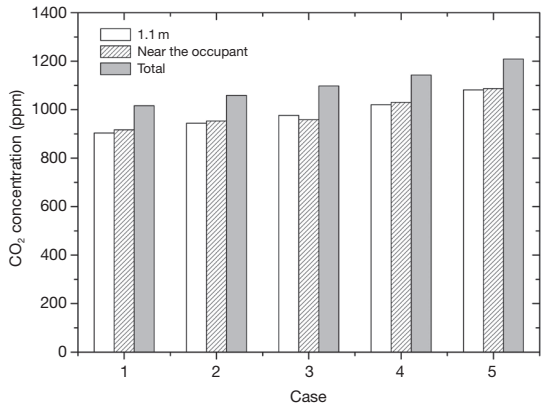

Fig. 6. Averaged CO_2 concentrations of the simulated cases with air cooling system.

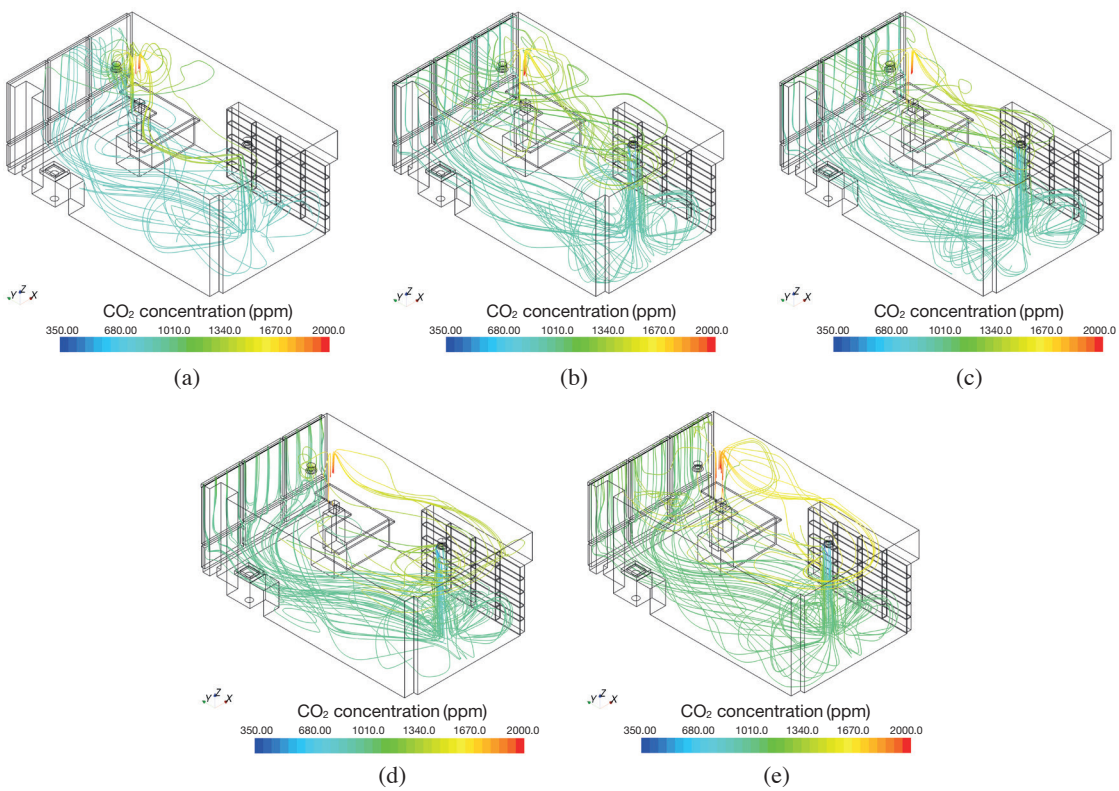

Fig. 7. Air path lines with CO_2 concentration: (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3, (d) Case 4, (e) Case 5.

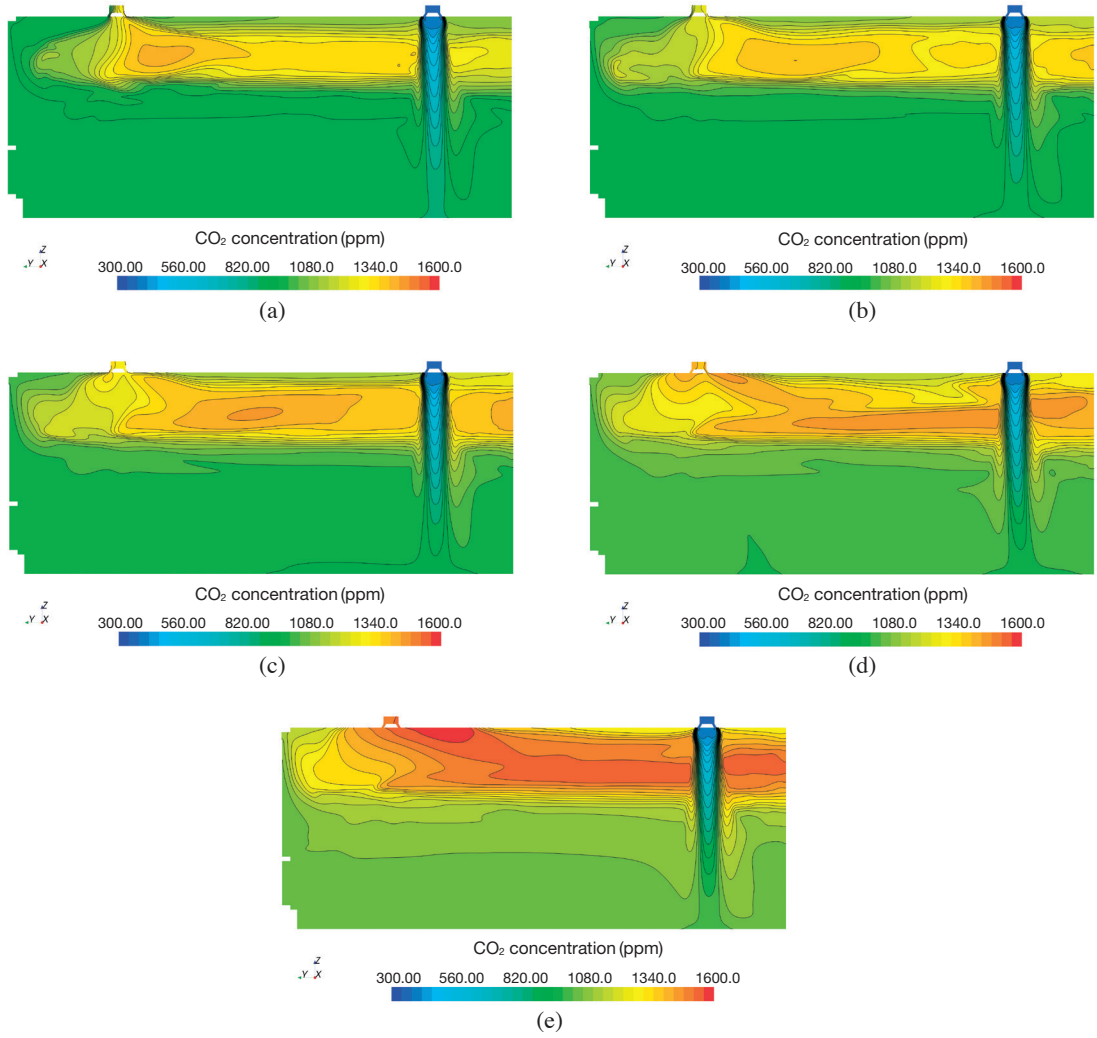

Fig. 8. CO_2 concentration distributions with air cooling system in the plane of x = 2.1 m: (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3, (d) Case 4, (e) Case 5.

작동하지 않기 때문에 재실자가 내쉰 CO_2가 실내 순환기류에 의해 급기구 주변으로 모이며 실내로 재순환된다. 그림 8은 x = 2.1 m인 사무실 수직 단면의 CO_2 농도 분포를 나타낸 그림이며, 천장 배기구의 배기량이 줄어들수록 천장 근처에서 정체되어 있는 CO_2의 양이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 7과 마찬가지로 실내로 공급되는 급기의 유동에 의해 천장 근처의 CO_2가 끌려 내려와 실내 CO_2 농도 증가에 영향을 미치는 것도 확인할 수 있다. 그림 9는 냉방 시 사무실 바닥에서부터 1.1 m 높이에서의 CO_2 농도 분포를 나타낸 그림이며, 이는 재실자가 앉아 있을 때의 얼굴 및 호흡기의 위치이다. 천장 배기구의 배기량이 감소하여 재순환되는 CO_2의 양이 증가하면 실내 CO_2 농도가 높아지며, 특히 재실자와 멀리 떨어져 있음에도 불구하고 급기구 주변에서 CO_2 농도가 높은 일부 구역을 찾을 수 있다.

그림 10은 냉방 시 사무실 바닥에서부터 1.1 m 높이, 재실자로부터 1.5 m 반경 내의 평균 PMV를 나타낸 그래프이다. 각 Case별 급기량이 같은 경우에 창호일체형 환기시스템의 배기량이 천장의 배기구로의 배기량보다 많아질수록 냉방 시 실내 열적 쾌적성이 향상되는 것을

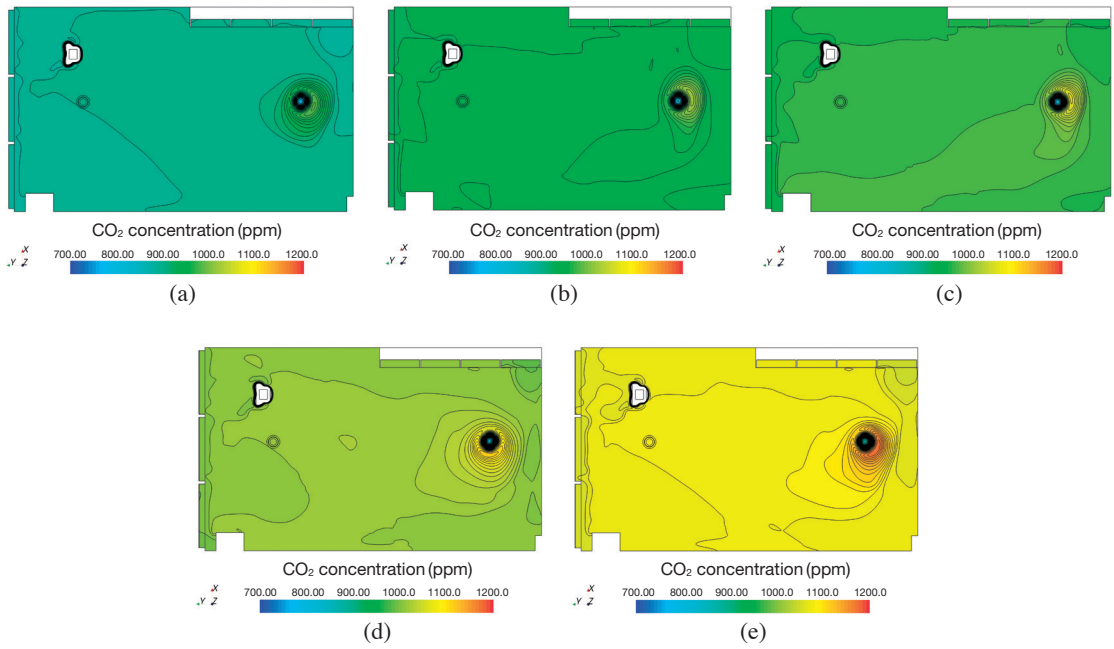

Fig. 9. CO_2 concentration distributions with air cooling system at 1.1 m above the floor: (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3, (d) Case 4, (e) Case 5.

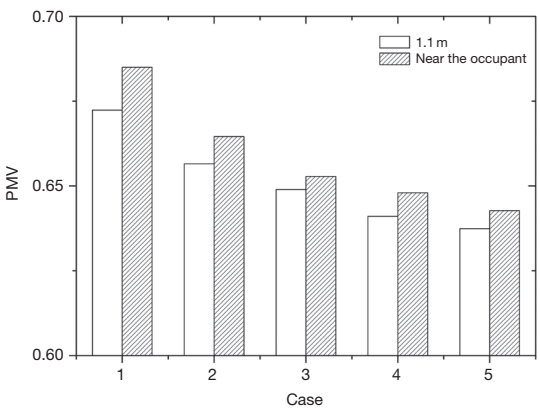

Fig. 10. Averaged PMV values of the simulated cases with air cooling system.

알 수 있다. 창문 표면에서 데워진 공기는 밀도차에 의해 상승하며, 환기시스템에서의 배기량이 많아질수록 창문 표면에서 상승하는 더운 공기를 원활히 배출하게 된다. 이로 인해 창문 표면의 더운 공기가 실내로 재확산되지 않게 되며 실내 열적 쾌적성이 향상된다. 그림 11은 냉방 시 사무실 바닥에서부터 1.1 m 높이에서의 PMV 분포를 나타낸 그림이며, 천장의 배기량이 감소하고 창호일체형 환기시스템에서의 배기량이 증가할수록 PMV가 쾌적 범위에 가까워지는 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 사무실 내 앉아 있는 재실자의 발목(바닥 위 0.1 m)에서 머리(바닥 위 1.1 m) 사이 높이별 평균 온도를 나타낸 그래프이다. Case 1～5 모두 수직 온도차가 1°C 이하로 나타났으며, ASHRAE 기준을 만족하였다. 또한 그림 10의 PMV와 마찬가지로 창호일체형 환기시스템의 배기량이 많아질수록 각 높이별 평균 온도도 내려가는 것을 알 수 있었다. 이는 냉방 시 창호일체형 환기시스템의 배기량이 많아질수록 실내 온도가 쾌적 조건에 가까워짐을 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 중앙냉방 시스템이 설치된 개인 사무실에 창호일체형 환기시스템을 추가 적용하여 이에 따른 실내환경 변화를 수치적인 방법으로 3차원 해석을

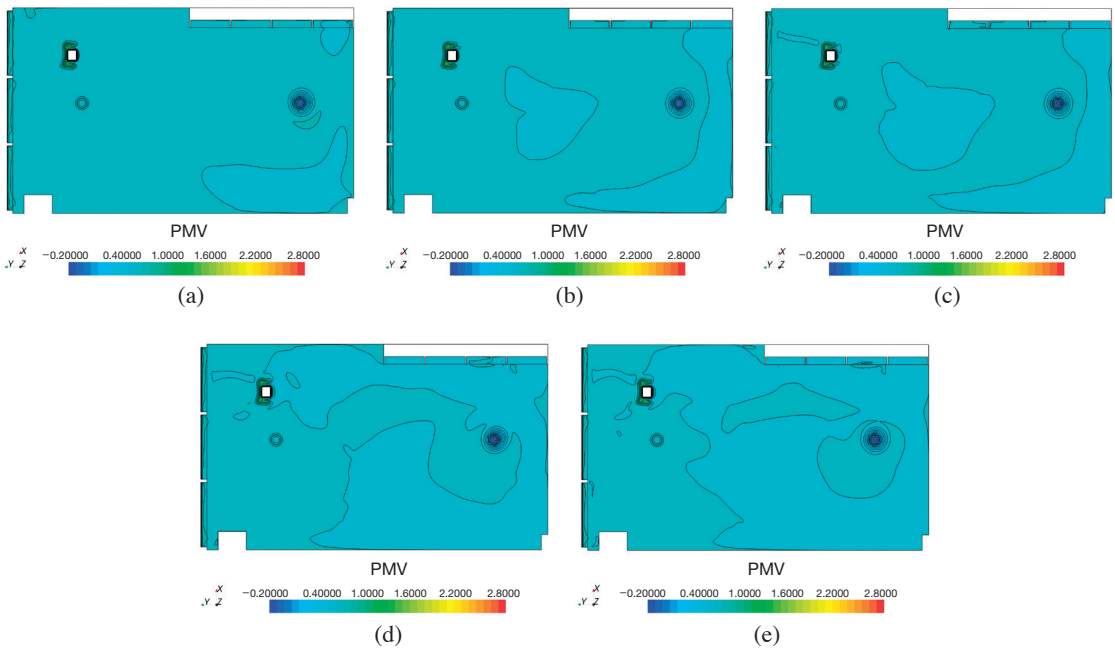

Fig. 11. PMV value distributions with air cooling system at 1.1 m above the floor: (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3, (d) Case 4, (e) Case 5.

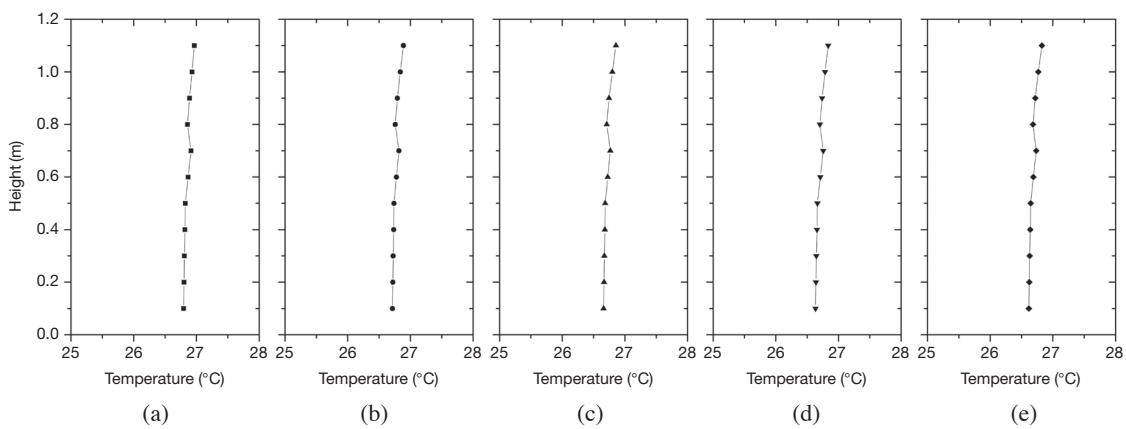

Fig. 12. Averaged vertical air temperatures between ankles (0.1 m above the floor) and head (1.1 m above the floor): (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3, (d) Case 4, (e) Case 5.

하였다. 연구대상의 수치모델을 통해 사무실의 급기량이 같은 조건에서 중앙냉방 시스템과 창호일체형 환기시스템의 배기율을 변화시켰을 경우 실내의 CO_2 농도와 PMV, 수직 온도차를 이용하여 실내환경을 평가하였으며, 그에 대한 연구 수행 결과는 다음과 같다.

(1) 창호일체형 환기시스템의 배기량은 감소하고 천장 배기구의 배기량이 증가할수록 실내 CO_2 농도는 감소하고 PMV는 증가하기 때문에, 환기효율은 개선되는 반면 실내 열적 쾌적성은 악화되는 것으로 판단된다.

(2) 창호일체형 환기시스템의 배기량이 증가하고 천장 배기구의 배기량이 감소할수록 실내 CO_2 농도는 증가하고 PMV는 감소하기 때문에, 환기효율은 악화되지만 실내 열적 쾌적성은 향상되는 것으로 판단된다.

(3) 창호일체형 환기시스템은 창문 표면에 의해 데워져 상승하는 공기를 배출시키는 데에는 효과적이지만 재실자가 내쉰 CO_2를 원활히 배출하지는 못하는 것으로 판단된다.

(4) 실내 수직 온도차는 모든 Case에서 쾌적 조건을 만족하였으며, 창호일체형 환기시스템의 배기량이 증가하고 천장 배기구의 배기량이 감소할수록 높이별 평균 온도는 내려가 쾌적 조건에 가까워지는 것으로 나타났다.

결국 냉방 시 본 연구의 대상인 사무실의 공기질 향상을 위해서는 천장에 배기구가 설치된 중앙냉방 시스템을 중심으로 운영해야 하며, 열적 쾌적성 향상을 위해서는 창호일체형 환기시스템을 중심으로 운영해야 함을 알 수 있었다. 위의 결과들을 종합하면 환기시스템의 배기구 하단 부근에 위치한 실내 열원 및 오염원이 다른 지점에 위치했을 경우보다 효과적으로 배출되는 것을 파악할 수 있다. 또한 이를 통해 실내의 총 급기량 또는 배기량을 변화시키지 않아도 실내환경에 따라 중앙냉방 시스템 및 창호일체형 환기시스템 각각의 배기율을 제어하면 실내 공기질과 열적 쾌적성을 개선할 수 있음을 확인하였다.

본 연구결과를 활용하면 국내 공동주택 및 상업용 건축물의 실내환경에 따른 중앙냉방 시스템과 창호일체형 환기시스템 연계 운영 알고리즘 개발에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 더욱이 두 시스템의 연계 운영 알고리즘에 따라 정밀한 제어가 이루어진다면 기존의 경우보다 냉방 시 에너지 소비 효율을 향상시킬 수 있을 것이며, 이에 따른 추가적인 실험과 시뮬레이션 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비 지원(14RERP-B090024-01)에 의해 수행되었습니다.

References

ASHRAE (2013) ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).

Burge, H.A. and M.E. Hoyer (1990) Indoor Air Quality, Appl. Occup. Environ. Hyg., 5(2), 84-93.

Chang, H.J. and H.J. Kim (2011) A Study on Ventilation Characteristics Made by Thin Line Type Ventilator in an Apartment House, Korean J. Air-Conditioning Refrig. Eng., 23(3), 201-207.

Gläser, H.J. and S. Ulrich (2013) Condensation on the outdoor surface of window glazing - Calculation methods, Key Parameters and Prevention with Low-Emissivity Coatings, Thin Solid Films, 532, 127-131.

Hwang, J.W., J.Y. Song, and B.C. Ahn (2012) Demand Control Application Strategies for Saving Electric Power Price of Central Cooling System, Trans. Korea Soc. Geotherm. Energy Eng., 8(4), 1-7.

ISO 7730 (1994) Moderate Thermal Environments - Determination of PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, International Standardization for Organization.

ISO 7730 (2005) Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, International Organization for Standardization.

Jeong, C.H., J.S. Park, M.S. Yeo, and K.W. Kim (2013) An Experimental Study of the Characteristic of Surface Temperature Distribution and Condensation in a Vacuum Insulated Glass Window, J. Archit. Inst. Korea - Plan. Des., 29(10), 283-292.

Kim, G.W., O. Kim, S.W. Jun, J.C. Park, and E.K. Rhee (2006) An Experimental Study on the Performance of Hybrid ventilation system in Apartment Houses, Proc. SAREK, 104-108.

Kim, J., T. Kim, and S.B. Leigh (2011) Double Window System with Ventilation Slits to Prevent Window Surface Condensation in Residential Buildings, Energy Build., 43(11), 3120-3130.

Kim, S.D. and J. Lee (2005) Recommended Practice for a Reasonable Design Demand Factor and Analysis of Power Consumption Characteristics by Loads in Office Building, J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng., 19(3), 111-118.

Lee, E.H., Y.S. Kim, and C.G. Ji (2013b) A Study on Window

Type Ventilation System Using IT Technology for Energy Saving in Housing Space, J. Korean Hous. Assoc., 24(2), 61-68.

Lee, J.Y., K.J. Jang, and H.T. Han (2013a) Comparison Experiment for Indoor Air Quality and Energy Consuming regarding Ventilation Mode, Proc. SAREK, 352-355.

Lee, K.H., J.O. Yoon, J.G. Jeong, Y.G. Lee, and E.-M. Moon (1995) Field Study on Indoor Air Quality and Sick Building Syndrome in Office Building, J. Archit. Inst. Korea, 11(12), 179-187.

Oreszczyn, T., D. Boyd, and P. Cooper (1989) Condensation Targeter: The Integration of a Thermal and Moisture Model, Proc. Build. Simul., 47-52.

Park, D.Y. and S. Chang (2014) Numerical Analysis to Determine the Performance of Combined Variable Ceiling and Floor-based Air Distribution Systems in an Office Room, Indoor Built Environ., 23(7), 971-987.

Patankar, S. (1980) Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Taylor & Francis.

Perez-Lombard, L., J. Ortiz, and C. Pout (2008) A Review on Buildings Energy Consumption Information, Energy Build., 40(3), 394-398.

Sung, U.J., S. Cho, and K.D. Song (2012) An Analysis on Thermal Performance and Economic of Heat Recovery Ventilation System Integrated with Window, Korean J. Air-Conditioning Refrig. Eng., 24(8), 646-655.

Van Den Bergha, S., R. Hart, B.P. Jelle, and A. Gustavsena (2013) Window Spacers and Edge Seals in Insulating Glass Units: A State-of-the-Art Review and Future Perspectives, Energy Build., 58, 263-280.

Versteeg, H.K. and W. Malalasekera (2007) An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method, Pearson Education.

Werner, A. and A. Roos (2007) Condensation Tests on Glass Samples for Energy Efficient Windows, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 91(7), 609-615.

Wyon, D.P. (2004) The Effects of Indoor Air Quality on Performance and Productivity, Indoor Air, 14(Suppl 7), 92-101.

Yoon, D.W., J.S. Kim, S. Yoo, D. Song, T. Kim, and S.B. Leigh (2008) A Study on Performance Evaluation of Natural Ventilative Dual Window for Condensation Prevention in Apartment Housing, J. Korean Inst. Archit. Sustain. Environ. Build. Syst., 2(2), 41-46.