



전산유체역학(CFD)분석을 통한 에어글라이드창호 환기성능평가

Performance Evaluation of Air Glide Window by Computational Fluid Dynamics Analysis

양영권* · 박보랑* · 최은지* · 김태원* · 문진우* · 박진철**

Yang, Young Kwon* · Park, Bo Rang* · Choi, Eun Ji* · Kim, Tae Won* · Moon, Jin Woo* · Park, Jin Chul**

* School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, South Korea

** Corresponding author, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, South Korea (jincpark@cau.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This paper is to verify the performance of the 'Air-glide window', a window type ventilation system using the Bernoulli principle. A window-type ventilation system refers to a system, in which windows and ventilation systems are integrated, without interfering with the function and performance of the window. **Method:** In Chapter 2, we review the outline of the existing window type ventilation system, the case, and technology trends. In Chapter 3, we explain the principle, the basic structure and the detailed functions of the 'Air-glide window'. In Chapter 4, a comparison and analysis of the ventilation and heat exchange performance was performed through CFD simulations of general windows and air glides windows. **Result:** It was confirmed that the air inflow rate of the 'air glide window' was more efficient, even in the same outlet area and wind speeds. This result can be expected to be better given the high velocity (jet stream) wind speed due to the very small size of the air outlet, when the prototype of the 'air glide window' is manufactured and applied.

KEYWORD

창호형 환기시스템
베르누이원리
전산유체역학
창호
환기시스템

Window ventilation system
Bernoulli Principle
Computational fluid dynamics
Window
Ventilation system

ACCEPTANCE INFO

Received Nov 16, 2017
Final revision received Dec 1, 2017
Accepted Dec 6, 2017

© 2018 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도시의 현대인은 일상생활의 80% 이상을 실내에서 거주하기 때문에 쾌적한 실내공기질의 유지는 매우 중요하다. 오염된 실내공기가 인체에 노출될 경우 빌딩증후군(Sick Building syndrome), 복합 화학물질과민증(Multiple chemical sensitivity) 등의 질병에 걸릴 위험이 있는데, 빌딩증후군이란 실내의 오염물질에 의한 건강상의 증상을 나타내는 용어이다. 주요 증상으로는 감각둔화, 두통, 호흡기질환 등이 나타날 수 있으며 심할 경우 사망에 이르기기도 한다.

세계보건기구(WHO)에 따르면 전 세계 빌딩의 40%에서 오염된 실내공기 때문에 실내 거주자들의 건강이 치명적인 영향을 받고 있다고 한다. 따라서, 쾌적한 실내공기질의 유지를 통해 우리의 건강을 지킬 필요가 있다.

쾌적한 실내공기질을 유지하기 위해서는 오염물질의 발생 억제, 유입 방지 등 여러 가지 방법이 있지만, 미국 국립직업안전건강연구소(NIOSH; National Institute for Occupational Safety and Health)에 따르면 실내공기 오염의 기여도는 52%로 '불충분한 환기'가 가장 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 환기는 현대 건축물에 있어서

매우 중요한 요소 중 하나이다.

건축물에 적용할 수 있는 환기시스템은 환기방식 및 형태에 따라 매우 다양하다. 환기시스템 중 하나인 창호형 환기시스템은 창호의 기능과 성능을 저해하지 않으면서, 창호와 환기시스템이 일체식으로 결합된 시스템을 뜻한다. 장점으로는 창틀에 설치되어 덕트 연결이 불필요하기 때문에 덕트 오염의 우려가 없으며, 전열교환코어를 내장하고 있어 에너지 절약 측면에서도 유리한 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 베르누이 원리를 적용하여 환기효율을 증가시킨 창호형 환기시스템을 제시하고, 이의 전산유체역학(CFD; Computational Fluid Dynamics) 성능평가를 통해 기존 창호형 환기시스템과의 성능 비교를 실시하여 베르누이 원리 적용 창호의 외기 도입 성능 우수성을 입증하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 논문은 베르누이 원리를 이용한 창호형 환기시스템인 '에어글라이드창호'의 성능 검증을 목적으로 한다. 관련 분야 고찰을 위해 '2장'에서 기존 창호형 환기시스템의 개요 및 사례-기술동향 조사를 실시하고, '3장'에서 에어글라이드 창호의 원리와 기본적인 구조, 상세 기능을 설명하였다. '4장'에서는 일반창호와 에어글라이드창호의 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션 비교 분석을 통하여 환기 및 열교환 성능의 비교 검증을 실시하였다.

CFD분석은 1개의 대조군과 3개의 비교군으로 구성하였으며, 대조군은 에어글라이드 창호이고 비교군은 일반 창호형 환기시스템 2가지(a. 하단환기형 창호, b. 측면환기형 창호)로 구성하였다. 다음의 <그림 1>은 연구의 방법 및 범위를 나타낸다.

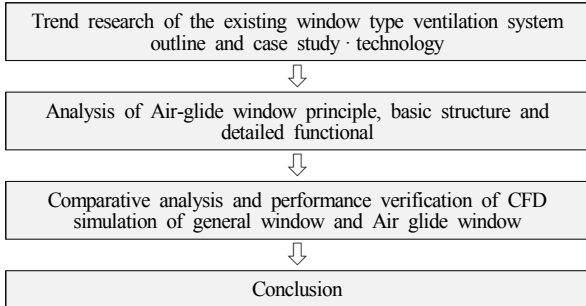


Fig. 1 Flow Chart of Research

2. 창호형 환기시스템

환기란, 실내와 실외의 공기 순환을 통해 오염된 냄새, 먼지, 부유세균 등을 배출하고, 온·습도를 조절하여 쾌적하고 건강한 실내 환경 조성하는 방법이다. 환기는 환기방식에 따라 크게 자연환기와 기계환기 두 가지로 나뉜다. 자연환기는 풍력과 중력을 이용하고, 기계환기는 각종 기계적인 장치를 사용하여 강제적으로 환기를 하는 방법이다.

창호형 환기시스템은 창호와 환기시스템이 결합된 일체형 환기시스템을 뜻한다. 환기 방법은 크게 두 가지로 자연 환기 방식과 기계환기 방식으로 나눌 수 있다. 창호형 환기시스템은 창호의 기본적인 기능과 성능을 저해하지 않으면서 환기가 보다 원활하게 될 수 있도록 유도하는 시스템이다.

2.1. 창호형 환기시스템 사례 및 기술동향

Table 1 Domestic Window Ventilation System Products

Product name	Key Performance
P / J type automatic ventilation	· Opening and closing windows using air cylinder air pressure · Automatically switches to a 45° angle when raining through a rain sensor
Window type natural ventilation	· Natural ventilation window through the vent at the top of the window · Equipped ventilation filter to collect 71.8% of fine dust · The crime prevention effect because of a possibility of the ventilation without opening the window.
window equipped hybrid ventilation	· Install ventilation holes at the top of the window and inserting a fan inside for mechanical ventilation · Equipped with ventilation filter to collect 90.2% of fine dust · Using the air in the double window: 4.6% energy saving effect · Ventilation performance: Ventilation rate of 46.2m ³ / h
Air Pass Window	· Opening and closing windows using air cylinder air pressure

국내· 외 건물에 적용되고 있는 창호형 환기시스템의 종류는 일반적인 창호의 형태로써 자연환기를 통해 환기가 이루어지는 Window type, 이중외피 형태로써 상하부의 유입구를 통하여 환기 및 열교환을 실시하는 Double skin type이 있다.

또한 창호의 프레임에 통하여 공기를 유입 또는 배출할 수 있는 Integrated windows and doors type이 있다, 그 외에도 추가적으로 자연환기 방식인 Active natural type, 열교환이 가능한 Compact heat exchanger type, 자동으로 환기의 제어가 가능한 Automatic ventilation type 등이 있다. 일반적으로 창호형 환기시스템에 적용되는 열교환기는 실내열을 60~70%까지 회수한다. <표 1>은 현재 국내에 출시되어 있는 주요 창호환기시스템의 현황이다. 자동 창호의 경우 스위치 또는 리모컨으로 직접 사용자가 작동을 하는 방식이며 기상변화 등에 따라서 자동으로 작동하는 창호는 우선 시 센서의 감지를 통하여 개폐 가능한 창호가 있다.

3. 에어글라이드 창호

3.1. 베르누이 원리[Bernoulli's theorem]

베르누이 원리란, 유체역학의 기본법칙 중 하나로써 유체의 흐름과 속력, 압력, 높이의 관계에 대하여 1738년 D.베르누이가 발표하였다. 유체의 위치에너지와 운동에너지의 총합은 항상 일정하다는 것에서 유도되어, 유체의 속력이 좁은 통로를 흐를 때 증가하고 넓은 통로를 흐를 때 감소한다는 원리이다.

본 연구에서 개발된 창호 환기시스템은 창호프레임에 미세한 취출구를 구성하여 상기 원리를 구현하는 시스템이다. 창호 프레임에 유체(외기)를 삽입하여 압력을 높이면 미세한 취출구로 강한 풍속의 제트기류가 형성되고, 이를 통해 외기 유입률 증가를 도모할 수 있다.

3.2. 에어글라이드 창호 개요

일반적인 창호는 실내 환기 시 창호의 위치가 맞통풍으로 원활하게 유입되지 않거나, 외기의 풍속이 낮은 경우 환기 효율이 떨어지는 문제점을 가질 수 있다. 또한 황사발생 및 기상변화로 인해 이물질(빗물, 미세 먼지 등)이 실내로 쉽게 유입될 수 있는 문제점을 가진다.

하지만, 본 연구에서 제안하는 '에어글라이드 창호'는 베르누이 원리를 적용한 환기방법을 통해 외기의 풍속, 창호의 배치와 상관없이 효율적인 실내 환기를 가능하게 하여 쾌적한 실내환경을 조성 및 유지 할 수 있도록 한다. 또한, 외부의 기상변화로 인한 이물질이 실내로 유입되는 것을 방지한다. 다음의 <그림 2>는 '에어글라이드 창호'의 단면도 및 기본 개념을 보여준다.

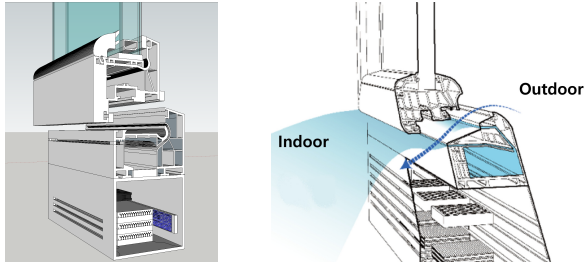


Fig. 2 'Basic Concept of 'Air Glide Window'
(patent application number : 10-2016-0051664)

3.3. 에어글라이드 창호 상세 기능

에어글라이드 창호'는 사용 방법에 따라 ①창호가 열려있는 경우와 ②창호가 닫혀 있는 경우로 나눌 수 있다.

① 창호가 열려 있는 경우 창호 프레임 내부(C)에 팬(Fan)을 이용하여 공기를 유입시키고, 미세한 취출구(A)를 통해 고속으로 배출된다. 이와 같은 과정에서 취출구 주변으로 부압이 발생하기 때문에 실외의 공기를 흡입하는 효과인 베르누이 원리가 발생하게 된다. 이를 통해 기존의 일반적인 창호에 비해 효율적인 환기가 가능하다.

② 창호가 닫혀있는 경우 동일한 풍량의 팬(Fan)을 적용하여도 미세한 취출구의 영향으로 창호 프레임 내부(C)의 압력이 높아지고, 결국 고속의 바람이 취출구(B)를 통해 배출된다. 이 역시 기존 일반적인 창호에 비해 상대적으로 더욱 높은 풍속을 얻을 수 있기 때문에 환기율에 있어서 더욱 유리하다.

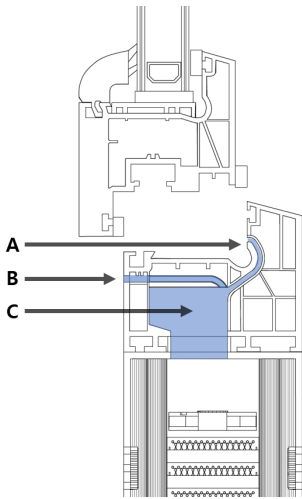


Fig. 3 Cross-section and Outlet Detail of Air Glide Window

4. 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션

본 연구에서는 에어글라이드 창호의 성능 비교·검증을 하기 위해 전산유체역학(CFD)분석을 실시하였다. 창호형 환기시스템의 성능 분석은 다양한 방법으로 연구 될 수 있으며, 주로 사용되는 방법은 Mock-up 실험과 CFD분석이 있다. 하지만, Mock-up 실험의 경우 장비의 부족, 측정기간, 측정비용 및 인력 등 다양한 현실적

제약의 이유로 비교적 간단하게 수행할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 분석인 CFD 분석을 사용하여 사전 성능 검증을 수행하는 경우가 많다.

CFD 시뮬레이션 분석은 비교적 적은 비용으로 다양한 상황을 분석 할 수 있는 장점이 있으며, 최근 프로그램 기술이 급격히 발전함에 따라 더욱 정교한 시뮬레이션 분석이 가능해지고 있다. 이와 관련하여 CFD를 활용한 환기 성능 평가의 다양한 연구 방법들이 개발되고 있다. 본 연구에서 창호형 환기시스템 성능 분석을 위해 사용된 CFD 시뮬레이션 프로그램은 CD-Adapco사의 Star-CCM+ (ver. 9.06)를 사용하였으며, Launder와 Spalding가 최초 제안한 표준 K-epsilon 모델을 사용하였다. CFD분석에 사용되는 대표적인 난류 모델은 SST, K-epsilon, K-omega 등이 있는데 본 연구에서 사용된 K-epsilon 모델은 실내·외 기류분석에 있어서 높은 정확도의 tetra 격자를 해석능력으로 상대적으로 큰 모델링에도 에러율이 낮은 장점이 있다. 상대적으로 벽면 부근의 난류 해석 정확도가 낮은 단점이 있지만 본 연구에서는 개구부에서의 흐름 파악이 목적이었기 때문에 사용상의 문제점이 없다고 사료되어 채택하였다. 기본 설정조건은 <표 2>와 같다. 대상 모델의 규모를 고려하고 시뮬레이션의 효율적인 작동을 위하여 mesh를 0.05m로 설정하였고, 가장 효과적으로 3차원 해석이 구현 가능한 육각형 격자인 polyhedral mesh로 설정하였다.

Table 2 Simulation environment setting

Item	Settings
Space	Three Dimensional
Mesh	Polyhedral Mesh
Mesh Size	0.05m
Time	Steady
Material	Gas
Flow	Segregated Flow
Fluid state	Equilibrium Air
Viscosity	Turbulent
Reynolds-turbulent flow	k-ε Turbulence
Iteration	100회

본 연구의 CFD 기류 분석은 3차원 난류 압축성 비정상유동으로, 이를 지배하는 방정식은 유체 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동 에너지방정식(k), 난류소산 에너지방정식(ε)이다. 유체유동은 유입구의 레이놀드수를 기준으로 전유동장이 난류유동으로 간주되어 수치적인 난류모델을 적용해야하며, 관련 지배방정식과 물리적모델 관계식은 연속방정식 및 운동에너지방정식, 입자의 운동방정식, 표준 k-ε난류모델 방정식으로 다음의 (1)~(3)과 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_m$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \dots \dots \dots (1)$$

$$\tau_{ij} = [\mu (\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij}]$$

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + g_x(\rho_p - \rho) / \rho_p + F_x$$

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p D_p^2} \frac{C_D R_e}{24} \dots\dots\dots (2)$$

$$R_e = \frac{\rho D_p |u_p - u|}{\mu}$$

$$C_D = a_1 + a_2 / R_e + a_3 / R_e^2$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + (1 - C_{3\epsilon}) G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

$$\dots\dots\dots (3)$$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

$$G_b = -g_i \frac{\mu_t}{\rho \sigma_h} \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_{\mu} = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

창호형 환기시스템의 환기 및 열교환 성능 비교 검증을 위하여 1개의 대조군과 3개의 비교군으로 구성하여 분석을 실시하였다. 대조군은 ‘에어글라이드 창호’이며, 비교군은 a. 하단환기형 창호, b. 측면환기형 창호로 구성하였다. 환기시스템의 취출구 풍속에 따른 성능을 검증하기 위하여 2m/s, 4m/s, 6m/s로 풍속을 변화하여 실시하였으며, 풍속 외의 실의면적, 취출구의 면적, 실내·외 온도, 실내·외 풍향 등 모든 조건을 동일하게 설정하였다. 외기의 풍속은 기상청 자료를 참고하여 서울 서초구의 평년값(30년)자료를 활용하여 평균 풍속인 1.5m/s와 주풍향인 서풍으로 지정하였다. 상세 조건은 Table 3과 같으며, 창호의 형태에 따른 풍속 변화를 보기 위하여 온도 및 습도 등 다른 요소는 실내·외 동일하게 설정하였다. 시뮬레이션의 전체적인 환경 모델링은 <그림 4>, 분석 시 수직·수평단면의 위치는 <그림 5>와 같다. 각 창호의 상세 사이즈 및 취출구의 위치는 <그림 6~8>에 자세히 나타난다.

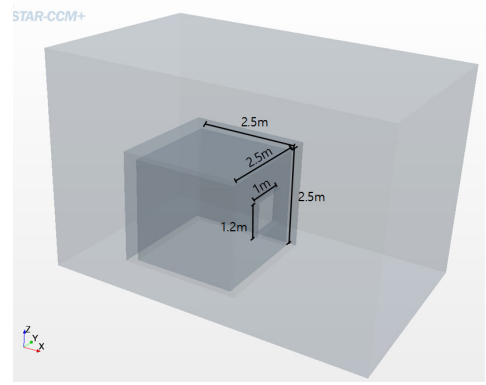


Fig. 4 CFD simulation modeling

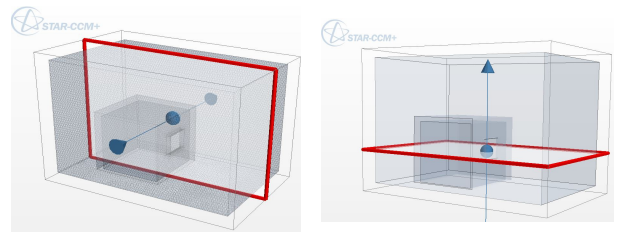


Fig. 5 Method of vertical section and horizontal section

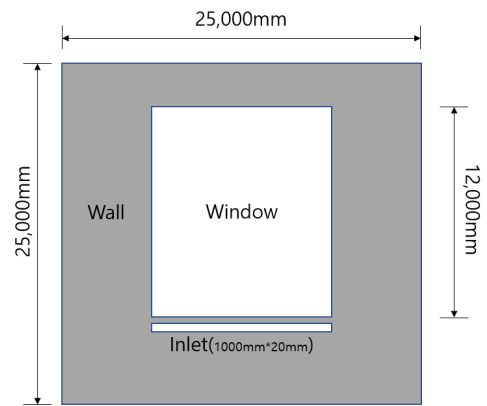


Fig. 6 Bottom type ventilation window detailed size

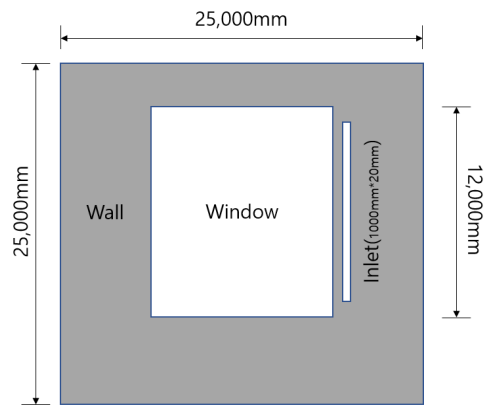


Fig. 7 Side type ventilation window detailed size

Table 3 CFD Simulation boundary condition

Item	Contents	
Type	Control group	Air glide window
	Comparison group	General window • Bottom type • Side type
Room area(m)	2.5m(W) x 2.5m(L) x 2.5m(H)	
Window area(m)	1m(W) x 1.2m(L)	
Outlet area(m ²)	0.24m ²	
Temperature(°C)	Outdoor	26°C
	Indoor	
Incoming wind velocity(m/s)	2m/s, 4m/s, 6m/s	
Outdoor wind velocity(west)	West wind 1.5m/s	

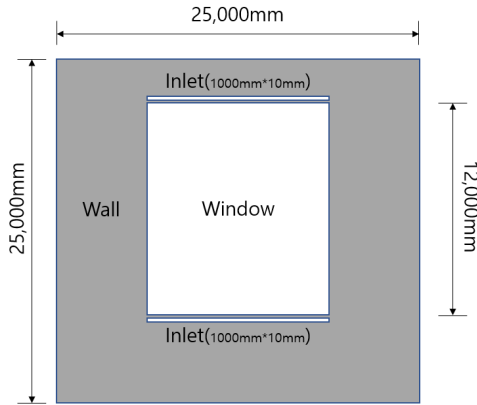


Fig. 8 Air-glide window detail size

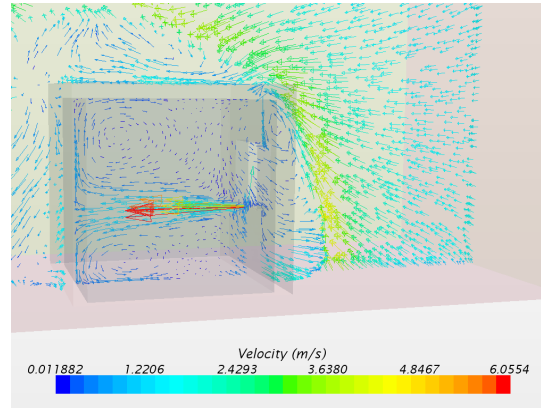


Fig. 11 Bottom type ventilation window (6m/s)

5. 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션 결과

5.1. 하단환기형 창호

하단환기형 창호는 환기시스템의 취출구 부분에서는 설정 풍속인 2m/s, 4m/s, 6m/s가 나타났으나, 취출구 부분을 제외하고, 창문으로 유입되는 공기는 미미한 것으로 나타났다. 다음의 <그림 9~11>과 같이 취출구의 풍속이 높아져도 창문을 통한 공기의 유입은 확인하기 힘들며 환기구를 통한 유입으로 실내의 압력이 높아져 창문을 통해 공기가 배출되는 것을 확인할 수 있었다.

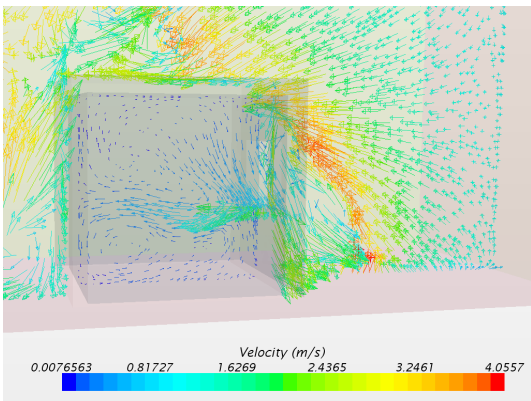


Fig. 9 Bottom type ventilation window (2m/s)

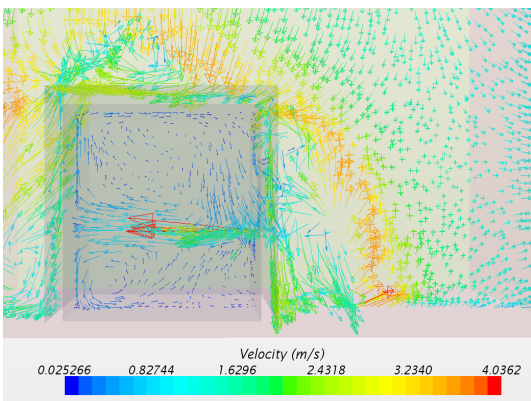


Fig. 10 Bottom type ventilation window (4m/s)

5.2. 측면환기형 창호

측면환기형 창호 역시 취출구 부분을 제외하고, 창문으로 유입되는 공기는 미미한 것으로 나타났다. 측면환기형 창호의 특성상 수직 단면 분석으로는 공기의 출입을 파악하기 힘들기 때문에 측면환기형 창호는 취출구와 개구부가 함께 분석될 수 있는 수평단면을 활용하였다. 다음의 <그림 12~14>와 같이 측면환기형 창호도 취출구의 풍속이 높아져도 창문을 통한 공기의 유입은 확인하기 힘들며, 개구부를 통한 공기 배출을 확인할 수 있었다. 이는 역시 취출구를 통한 공기 유입으로 인해 실내의 압력이 높아져 개구부를 통해 공기가 배출되는 것으로 사료된다.

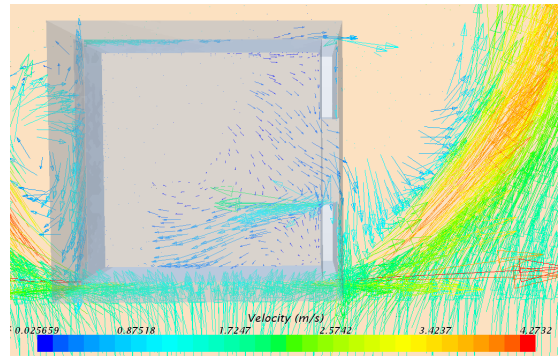


Fig. 12 Side type ventilation window (2m/s)

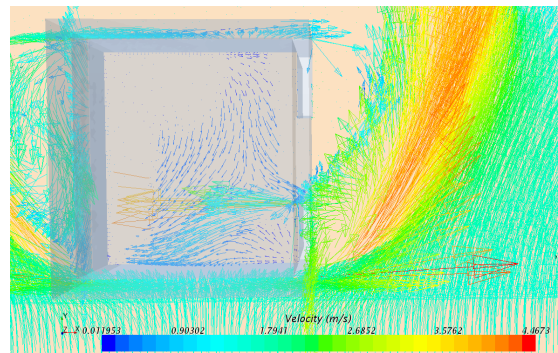


Fig. 13 Side type ventilation window (4m/s)

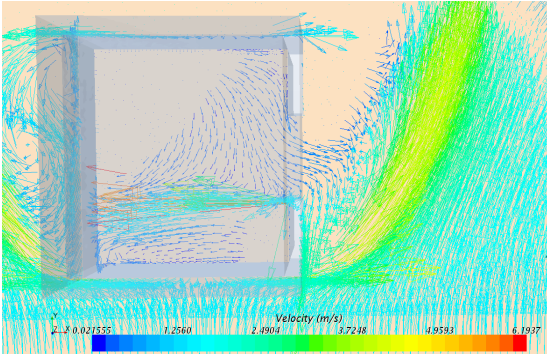


Fig. 14 Side type ventilation window (6m/s)

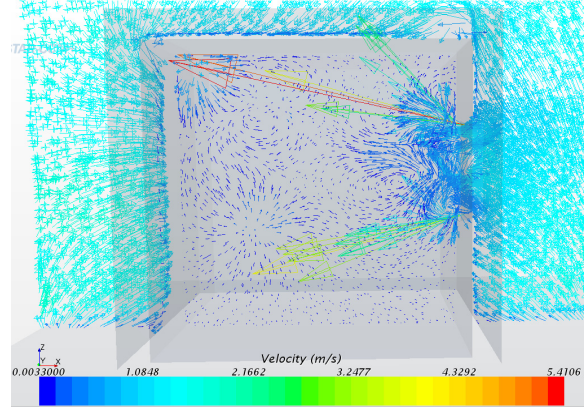


Fig. 17 Air-glide type ventilation window (6m/s)

5.3. 에어글라이드창호

상·하로 취출구가 있는 에어글라이드 창호는 다음의 <그림 15~17>에서 볼 수 있듯이 취출구뿐 아니라 창호를 통해서 외기가 유입되는 것을 확인할 수 있다.

실내의 압력이 높아질 정도로 충분한 시간이 흐른 뒤에도 일부를 제외하고 창호 개구부의 대부분의 공간에서 공기가 유입되었다.

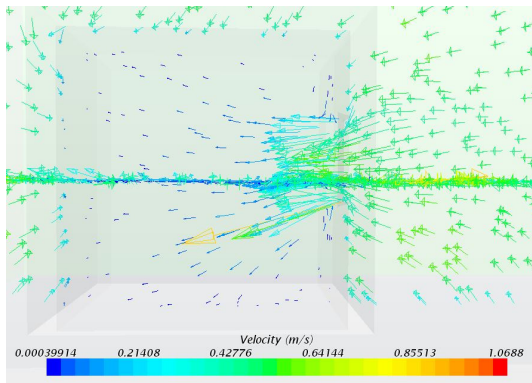


Fig. 15 Air-glide type ventilation window (2m/s)

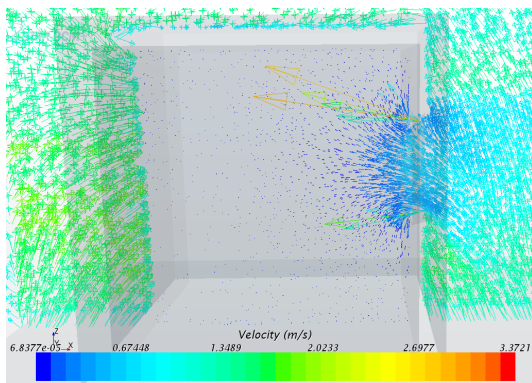


Fig. 16 Air-glide type ventilation window (4m/s)

6. 결론

본 연구에서는 ‘에어글라이드 창호’의 Mock-up 실험을 통한 성능 검증 이전의 단계로써, 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션 분석을 통해 일반적인 창호형 환기시스템과의 성능 비교를 실시하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Star-CCM+(ver.9.06)을 사용하였다. 분석을 위한 대조군은 일반적으로 많이 사용되는 하단형 창호환기시스템과 측면형 창호환기시스템으로 구성하였으며, 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 대조군인 하단형 창호환기, 측면형 창호환기와 실험군인 에어글라이드 창호환기 모두 동일한 면적의 취출구와 풍속으로 실험한 결과 하단형과 측면형은 개구부를 통한 외부공기의 유입이 미미하였으나, 에어글라이드 창호환기는 개구부를 통해 다량의 외부공기가 유입되는 것을 확인하였다.

(2) 환기시스템을 통해 실험실 체적 이상의 공기를 유입시킨 이후, 하단형과 측면형은 개구부를 통해 실내의 공기를 내보내는 것으로 확인되었지만, 에어글라이드 창호의 경우 취출구 주변의 개구부를 통해 지속적으로 외부의 공기를 유입시키는 것을 확인하였다.

(3) 이와 같이 동일한 취출구 면적과 풍속에서도 에어글라이드 창호의 외기 유입율이 더욱 효율이 높은 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 본 에어글라이드 창호의 시제품 제작 및 적용 시 매우 미세한 취출구의 크기로 인해 고속의(제트기류) 풍속이 생성 될 것을 감안하면 더욱 우수한 유입율을 기대할 수 있다.

(4) 전산유체역학(CFD)시뮬레이션 분석은 한계가 있기 때문에 본 연구 자료만으로는 에어글라이드 창호의 성능과 베르누이 원리의 적용을 명확하게 단정 짓기 어렵다. 또한 창호의 기본적인 성능 고려사항인 단열, 기밀, 수밀, 내풍압, 차음 등에 대한 고려 사항도 본 연구에서는 제외가 되어있다. 현재는 시제품 제작 전 ‘에어글라이드 창호’에 적용 된 디자인 및 원리의 사전 성능검증을 위한 단계이며, 위에서 언급 된 창호의 상세한 사항 및 창호 내부의 열교환기,

팬(FAN), 필터 등의 적용에 대한 분석도 향후 연구가 진행됨에 따라 고려하여 반영할 계획이다. 또한 순차적인 풍속 데이터를 얻기 위한 연구로서, 환기량 및 환기횟수는 등 정량적인 데이터는 본 연구에서 다루지 않았으나, 추후 상기의 세부 시스템이 적용되면 정량적인 데이터 취득을 위한 연구를 수행 할 예정이다.

본 연구의 결과는 창호형 환기시스템의 효율 및 성능 개선 연구의 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 이를 통해 창호 및 환기시스템의 시장 활성화를 도모할 수 있기를 기대한다.

Acknowledgments

This research was supported by a grant (17CTAP-C133322-01) from Infrastructure and Transportation Technology Promotion Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

Reference

- [1] 박동운, 장성주, 창호일체형 환기시스템 및 중앙냉방시스템 연계 운영에 대한 수치해석적 연구, 한국대기환경학회지(국문) 31 (4), 2015 // Dong Yoon Park, Seongju Chang, Numerical Analysis on the Coupled Operation of Ventilation Window System and Central Cooling System, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 31 (4), 2015
- [2] 한화택, 쾌적한 실내공기환경의 역사, 공기청정기술 제13권, 2000 // Han, Hwa Teak, History of pleasant indoor air environment, Air cleaning technology No.13
- [3] 대한건축학회, 건축학전서9 건축환경계획, 기문당, pp.176~184, 2003 // The architectural institute of Korea, Architecture9 Architectural Environment Planning, Kimoondang, pp.176~184
- [4] 차동원, 실내공기오염, 기문당, 2010, pp.72~210 // Cha, DongWon, Indoor air pollution, Kimoondang, pp.72~210
- [5] 이은혜 외2인, 주거공간 내 IT기술 적용 에너지 저감 창호형 환기시스템 연구, 한국주거학회논문집 24(2), 2013 // Lee, Eun-Hye, Kim, Yong-Seong, Ji, Chung-Gu, A Study on Window Type Ventilation System Using IT Technology for Energy Saving in Housing Space, JOURNAL OF THE KOREAN HOUSING ASSOCIATION 24(2)
- [6] 차동원, 실내공기오염, 기문당, 2010, pp.339~344 // Cha, DongWon, Indoor air pollution, Kimoondang, 2010, pp.339~344
- [7] 김상민, 김수영, 주상복합 건물에서 열교환기 적용에 따른 실내공기질 개선 및 에너지 절약효과 분석, 한국생활환경학회지 16(3), 2009 // Sangmin Kim, Sooyoung Kim, "Analysis on energy savings with indoor air quality by heat recovery ventilator in high-rise apartment buildings" Korean Journal of Society of Living Environmental System, 16 (3), 2009
- [8] 하정 외3인, BES와 CFD의 연성 해석 방법을 이용한 자연 환기 시뮬레이션에 대한 연구, 대한건축학회 논문집 - 계획계 28 (8), 2012 // Haw Jung, Kim Hyung-Keun, Kim Tae-Yeon, Leigh Seung-Bok, A Study on Simulation Methods in Natural Ventilation by the Coupling Simulation Method of BES and CFD, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design 28 (8)
- [9] 유성준 외2인, CFD 해석을 이용한 소규모 인쇄 작업장의 환기방식 및 환기량에 따른 환기효율 평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 - 계획계 29 (6), 2013 // Yoo, Sung-Jun, Kang, Joo-Won, Yang, Jeong-Hoon, A Study on Evaluation of Ventilation Efficiency from Ventilation System and Volume in the Small Printing Facilities Using CFD, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design 29 (6)
- [10] 남유진 외2인, CFD 해석을 통한 하이브리드 공조시스템의 인체 온열감의 불균일성에 관한 연구, 설비공학논문집 23 (3), 2011 // Yujin Nam, Minki Sung, Doosam Song, "Study on Non-uniform Thermal Comfort in Hybrid Air-Conditioning System with CFD Analysis", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 23 (3), 2011
- [11] 최창호, 조민관, CFD해석을 이용한 아파트 바람길 분석, 한국건축친환경설비학회 논문집 6 (2), 2012 // Choi Chang-ho, Cho, Min-kwan, A Study on Apartment Ventilation Path using the CFD, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems 6 (2), 2012
- [12] 장현재, 김형진, 창호형 환기장치에 의한 아파트의 환기성능에 대한 연구, 설비공학논문집 23 (3), 2011 // Hyun-Jae Chang, Hyung-Jin Kim, A Study on Ventilation Characteristics Made by Thin Line Type Ventilator in an Apartment House, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 23 (3), 2011
- [13] 기상청 자료관리서비스팀, 풍력자원 개발 연구보고서, 기상청 자료관리서비스팀 기술노트 2007-9, 2017 // Korea Meteorological Administration Data Management Service Team, Wind Resources Development Research Report, Korea Meteorological Administration Data Management Service Technical Note 2007-9
- [14] 임정환 외3인, 충격기류식 여과포 집진장치에서 탈진 특성의 가시적 고찰, 한국화학공학회 1999 춘계 학술발표논문집 5권 (1호), p.873, 1999 // Lim Jung-Hwan, Park Young-Ok, Son Jae-Ik, and Dong-Kyu Jeong, Visible Investigation of De-dusting Characteristics in Impact Airflow Type Filter Depositor, The Korean Institute of Chemical Engineers Vol.5 (1), p.873