



## 오피스 건물에 적용된 다층형 이중외피의 풍압과 실내·외 온도차에 의한 환기량 변화 분석

*The Analysis on the Variation of the Ventilation Rates by Wind Pressure and Temperature Difference between Indoor and Outdoor in the Multi-Story Type Double Skin Facade applied to the Office Building*

송치호\* · 김래연\*\* · 이승복\*\*\*

Song, Chi-Ho\* · Kim, Teayeon\*\* · Leigh, Seung-Bok\*\*\*

\* Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (nowherech@yonsei.ac.kr)

\*\* Corresponding author, Dept. of Architecture, Yonsei Univ., South Korea (tkim@yonsei.ac.kr)

\*\*\* Dept. of Architecture, Yonsei Univ., South Korea (sbleigh@yonsei.ac.kr)

### ABSTRACT

**Purpose :** Improvement of indoor thermal comfort and reduction of the energy consumption in building can be obtained by applying a double skin facade system. In order to achieve effectively this purpose, design team would have to perform easy and appropriate performance analysis for making better design decision during the design process. **Method :** This paper focus on the natural ventilation performance of a multi-story type double skin facade with main causes which are pressure difference according to the wind and temperature difference between indoor and outdoor (Buoyancy Effect). Using this main causes, the natural ventilation ratio of wind effect-to-buoyancy effect in cavity of multi-story type double skin facade were analyzed through the performance analysis results of CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation. **Result :** When the wind velocity was 2m/s, the ventilation rate in the cavity was highest. If wind velocity was slower than 2m/s wind velocity, buoyancy effect has more influence on the ventilation rate in the cavity. and if wind velocity was faster than 2m/s wind velocity, wind effect has more influence on the ventilation rate in the cavity.

### KEYWORD

이중외피,  
다층형 이중외피,  
CFD 시뮬레이션,  
자연환기

Double Skin Facade,  
Multi-Story Type Double Skin Facade,  
CFD Simulation,  
Natural Ventilation

### ACCEPTANCE INFO

Received March 3, 2015

Final revision received April 15, 2015

Accepted April 17, 2015

© 2015 KIEAE Journal

## 1. 서론

건물에서의 자연환기는 어떠한 전력 수요 없이 실내에 쾌적한 공기를 공급하고, 열쾌적성을 개선시키는 역할을 한다.<sup>1)</sup> 이러한 실내 열쾌적과 자연환기의 효율을 더 향상시키기 위한 건물 외피 디자인 방법으로 이중외피(Double Skin Facade) 시스템의 사용이 증가하고 있다.

이중외피 시스템은 1900년대부터 유럽 전역에서 환경 친화적인 시스템으로 사용되고 있으며, 국내에서는 90년대 초부터 도입되었으나 일부 유형, 일부 시설에 국한되어 적용되고 있다.

이중외피 시스템에 관한 연구는 이중외피의 개구부 위치와 크기, 중공층의 깊이와 높이 등의 설계 요소 변화에 따른 환기 효율 분석<sup>2)</sup>, 중공층 구성 유리 물성치에 따른 인접 공간의 열쾌적 분석<sup>3)</sup>, 적용 유형에 따른 건물의 에너지 절감 여부 분석<sup>4)</sup> 등을 통해 성능 효율의 긍정적인 결과를 보여주었다. 이들 중 자연환기의 성능 분석에 대한 연구는 그와 관련하여 영향을 미치는 요소들이 다양하며, 그 중 명확한 값을 도출하기 어려운 요소들이 존재하기 때문에 정확한 예측이 어려운 것이 사실이다.<sup>5)</sup> 따라서 설계 초기 단계

에서 이중외피 시스템의 자연환기 성능 분석을 위한 간단한 분석 방법이 필요하며, 이는 자연환기를 활성화시키는 요인에 대한 분석을 기반으로 진행되어야 한다고 판단된다.

본 연구에서는 다층형 이중외피 시스템을 대상으로 자연환기를 활성화시키는 주된 요인인 풍압차와 실내·외 온도차에 따른 압력차(부력)에 의한 환기량 및 비율 분석을 진행하였다. 분석 결과를 통해 다층형 이중외피 시스템이 풍압차와 실내·외 온도차에 따른 압력차(부력) 중에 어떤 요소가 더 영향을 미치는지 그 비율을 도출하였다.

이를 통해 설계 단계에서 다층형 이중외피 시스템을 적용할 경우, 다양한 설계 요소들의 분석 우선순위 결정을 통해 적합한 유형 및 세부 사항 선택에 의한 성능 향상에 기여할 수 있다고 판단된다. 또한 운영 단계에서도 자연환기 성능 분석의 방법으로 활용하여 절기별 운영안을 도출하는데 도움이 될 수 있다고 판단된다.

## 2. 이중외피 시스템과 자연환기

### 2.1. 이중외피 시스템

이중외피 시스템은 두 개의 외피를 설치하여 중공층을 형성하고 그 내·외부에 차양장치를 설치한 외피 시스템을 말한다. 이러

한 이중외피 시스템은 여름철에는 중공층 차양장치 제어를 통해 실내로의 일사 유입을 차단하고 중공층 환기를 통해 냉방부하 절감에 도움을 준다. 겨울철에는 중공층의 예열환기를 통해 인접공간의 자연환기 가능 시간을 증가시키고, 건물의 열손실을 감소시켜 난방부하를 절감시켜주는 역할을 한다.

이중외피 시스템의 유형은 외피의 분리 형태에 따라 박스형 (Box type), 샤프트 박스형 (Shaft-Box type), 복도형 (Corridor type), 다층형 (Multi-Story type)으로 구분된다.<sup>6)</sup> 각 유형의 일반적인 이중외피 시스템의 역할은 동일하나 외부환경, 이중외피 인접 공간의 형태와 목적, 자연환기(외기 도입) 방식에 따라 적용 유형은 달라진다.

### 2.2. 자연환기

자연환기는 건물 주변 기류에 의한 압력차와 실내·외 온도차에 따른 압력차에 의해 발생하게 되며, 재실자가 건물 외피의 개구부 제어를 통해 조절할 수 있는 특성을 갖는다. 하지만 외부 환경과 외피의 형태, 실내 환경 조건에 따라 그 비율은 상이하게 나타난다.

자연환기를 활성화시키는 첫 번째 요인은 외부 기류에 따른 압력차이다. 외부 기류로 인해 생성되는 풍압은 건물 외피의 상하부, 정면과 측면, 그리고 배면에 압력차를 두고 형성된다. 이 압력차는 해당 지역 주변 건물의 형태 및 규모, 향, 밀집도 등의 환경에 영향을 받는다. 따라서 외부 기류에 따른 압력에 의해 발생하는 자연환기는 예측이 어려우며 일정한 환기량을 기대하기가 쉽지 않다.<sup>7)</sup> 풍압차에 의한 환기량 예측을 위한 식은 식 (1)과 같다.

$$Q_W = C_d A \sqrt{2\Delta P / \rho} \quad (1)$$

여기서,  $Q_W$  : 풍압차에 의한 환기량 ( $m^3/s$ )

$C_d$  : 풍압계수 (-)

$A$  : 개구부 단면적 ( $m^2$ )

$\rho$  : 공기의 밀도 ( $kg/m^3$ )

$\Delta P$  : 임의 두 개구부의 압력차 (Pa)

자연환기를 활성화시키는 두 번째 요인은 실내·외 온도차에 따른 압력차이다. 건물에서 실외온도가 실내온도보다 낮을 경우, 밀도차에 의한 압력차로 인해 부력이 발생하여 공기의 상승 유동이 일어나게 된다. 이러한 효과를 이용하여 건물 형태 설계를 할 경우, 환기 효율을 향상시킬 수 있다. 실내·외 온도차에 따른 압력차(부력)에 의한 환기량 예측식은 식 (2)와 같다.

$$Q_B = C_d A \sqrt{2g\Delta H_{NPL}(T_i - T_o)/T_i} \quad (2)$$

여기서,  $Q_B$  : 부력에 의한 환기량 ( $m^3/s$ )

$C_d$  : 풍압계수 (-)

$A$  : 개구부 단면적 ( $m^2$ )

$g$  : 중력가속도 ( $m/s^2$ , 9.81)

$\Delta H_{NPL}$  : 하부 개구부 중간부터 중성대까지 거리 (m)

$T_i$  : 실내온도 ( $^{\circ}C$ )

$T_o$  : 실외온도 ( $^{\circ}C$ )

다층형 이중외피의 실내·외 온도차에 의한 환기량 예측은 실내·외 온도와 개구부 단면적, 하부 개구부에서 중성대까지의 거리의 영향을 받는다. 중성대의 위치는 실내·외 온도차에 의해 결정되며 중요한 요소라 할 수 있다.<sup>8)</sup>

### 3. 연구의 분석 방법

다층형 이중외피의 자연환기 효율 중 풍압차에 의한 환기량과 실내·외 온도차에 따른 압력차에 의한 환기량이 차지하는 비율 중에서 어떠한 요소가 환기량에 더 영향을 미치는지를 도출하고자 하였다.

먼저 대상 지역의 기상 데이터를 토대로 고려해야할 요소인 연간 전일사량, 외기온도, 풍속, 풍향을 도출하고 최대 및 최소 범위 값을 파악하였다. 그리고 실측을 통해 특정 기간 동안의 중공층 내의 온도 분포, 일사량, 외기온도, 풍속, 풍향 데이터를 도출하였다.

도출된 데이터를 이용하여 보다 정확한 CFD 시뮬레이션 분석을 위해 경계조건을 설정하고 Validation을 진행하였다. 그 다음 자연환기에 영향을 주는 외부환경 요소(중공층 투과일사량, 외기온도, 풍속, 풍향)를 변수로 하여 Case를 선정하였다.

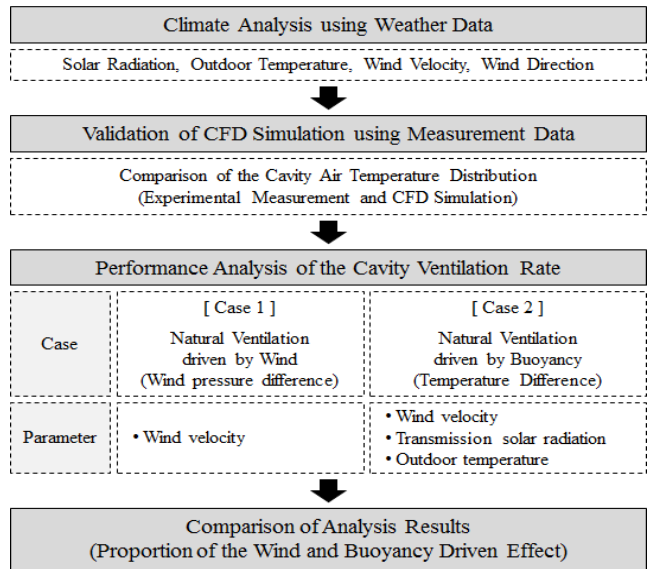


Fig. 1. Flow Chart of the Ventilation Performance for Double Skin Facade

Case 1은 풍압차에 의한 환기량 분석으로 풍향은 기후분석을 통해 얻어지는 주풍향(남향, S)으로 고정하고 풍속 변화에 따른 중공층 내의 환기량을 분석하였다. Case 2는 실내·외 온도차에 따른 압력차에 의한 환기량을 분석하였다. 풍향은 Case 1과 동일하게 주풍향으로 고정하고 중공층 투과 일사량과 풍속, 외기온도의 변화를 경계조건으로 하여 중공층 내의 환기량을 분석하였다. 위의 두 Case 분석 결과 데이터를 비교하여 다층형 이중외피의 환기량에 더 영향을 미치는 요소는 어떤 요소인지 수치로 도출하였다.

분석을 위해 CD-Adapco에서 제공하는 수치 해석 프로그램인 STAR-CCM+를 이용하였다. 이 해석 프로그램은 앞의 환기량 예측식의 요소들을 모두 내포하고 있다. 추가적으로 STAR-CCM+

Table 1. An Outline of the Building with Double Skin Facade

Contents		Details	
Location	162-1, Songdo-Dong, YeonSu-Gu, Incheon		
Total Floor Area	5,548.53m <sup>2</sup>		
Building Area	1,937.10m <sup>2</sup>		
Number of Floor	B1F, 4F		
Structure	Steel Framed Reinforced Concrete Structure		
Double Skin Facade	South-West Facade (38°, From South to West)		
	Steel Roll Forming Curtain Wall Double Coating Glazing(THK.24)		
Cavity Size	Dimension	W 10.2m x D 0.9m x H 21.7m	
	Volume	184.55m <sup>3</sup>	
Adjacent Office	Floor Area	77.14m <sup>2</sup>	2F Laboratory-3
	Volume	285.41m <sup>3</sup>	

a) A View of the Building with Double Skin Facade

b) 3th Floor Plan

c) South Elevation

d) Section, Measurement Points(▲)

내의 Passive Scalar를 통해 S. Kato의 환기효율지표인 SVE3 (Scale for Ventilation Efficiency 3)<sup>9)</sup>를 이용하여 환기량을 계산하였으며, 시간당 환기횟수(ACH:Air Change per Hour)로 비교하였다.

## 4. 대상 및 실측

### 4.1. 대상 개요

분석 대상은 인천광역시 연수구 송도동에 위치한 A사 건물에 적용된 다층형 이중외피와 인접 오피스이다. 대상 건물의 이중외피는 아트리움을 중심으로 양측에 위치한 오피스의 남측 입면에 적용되었다. 분석 대상은 좌측 오피스에 적용된 4층 높이의 이중외피로 선정하였다. 대상의 세부사항은 Table 1과 같다.

### 4.2. 실측 및 결과 데이터

CFD 시뮬레이션을 이용한 자연환기 효율 분석의 정확성을 위해 외부 환경 및 이중외피의 중공층 내부의 물리적인 현상 분석을 위해 측정 데이터를 이용하였다. 대상 건물은 현재 지속적으로 다양한 데이터가 측정되고 있다. 외부 기상스테이션은 외부 환경 요소(풍향, 풍속, 일사량, 외기온도 등)를 측정하고 있으며, 이중외피는 온도센서를 이용하여 중공층 내·외부 표면 및 공기 중의 온도가 측정되고 있다. 중공층 내부 공기 중의 온도는 차양장치와 바깥쪽과 안쪽 모두 측정이 되고 있다. 이외 추가적으로 중공층 내부로 투과되는 일사량을 측정하기 위해 일사측정 장비를 이용하여 측정하였다.

기상 스테이션은 건물 옥상에 위치하며 높이는 지상에서 약 21m 높이에 있다. 중공층 온도 측정 포인트는 Table 1의 d)에 ▲ 표시된 위치이며, 각 층 바닥에서 약 2.1m 높이에 해당된다. 실측은 15분단위로 측정되며 실측 데이터 및 장비는 Table 2와 같다.

실측 데이터는 특정일시(2015년 1월 26일 13시)의 데이터를 사용하였다. 이중외피의 외측 개구부는 개방, 내측 개구부는 닫힌 상태였다. 그리고 중공층 내부 차양장치는 닫힌 상태이다. (Table 2에서 a) Temperature Sensor의 이미지는 측정기기를 잘 보여주기 위해 차양장치를 개방한 상태이다.)

외기 온도는 5.74°C, 풍속은 연간 평균 풍속(3.0 m/s)보다 낮은 2.38m/s로 도출되었다. 중공층 내부 각 층의 차양장치 바깥부분에

Table 2. Measurement data and equipments

Measurement Contents	Data	
Measurement Date and Time	2015.01.26. 13:00	
Outdoor Temperature (°C)	5.74	
Wind Velocity (m/s)	2.38	
Wind Direction	219.1° (SW)	
Solar Radiation (W/m2)	175.8 (Global Solar Radiation)	
Cavity / Indoor Temperature (°C)	4F	16.37 / 20.05
	3F	16.52 / 15.78
	2F	15.60 / 15.78
	1F-1, 1F-2 Average	13.70 / 15.76

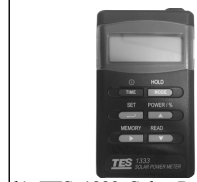
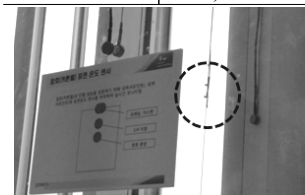
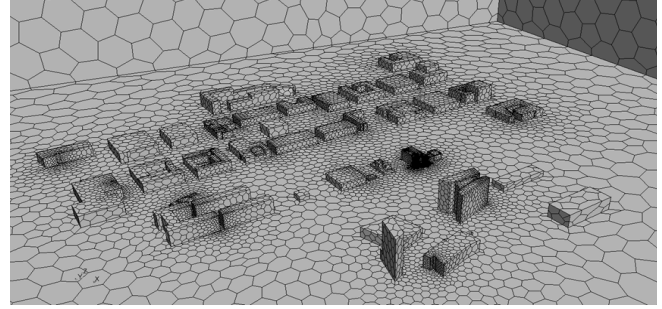
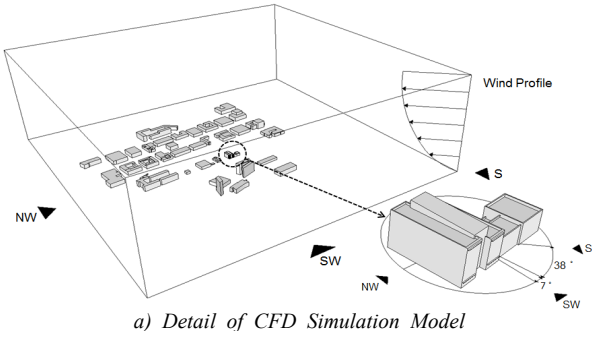


Table 3. CFD Simulation Model and Boundary Condition

Contents	Detail	Contents	Detail
Program	STAR-CCM+	Domain Size	1,500m x 1,500m x 500m (X, Y, Z Axis)
Equations	RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes)	State	Steady State
Turbulence Model	Standard k-ε Model	Wind Profile	$U = U_r \left( \frac{Z}{Z_r} \right)^\alpha$ U : Wind Velocity at Height Z (m/s) U <sub>r</sub> : Wind Velocity at a Reference Height Z <sub>r</sub> (m/s) Z <sub>r</sub> : Reference Height (m, 10) Z : Height (m) α : Wind Profile Exponent (0.22)
Buoyancy Model	Boussinesq Approximation		
Region Set up	Multi Region (Connected with each region using Internal Interface)		
Mesh Type	Polyhedral Mesh		
Cell Size	0.25m - 100m		
Cell Number	122,230		



서 측정된 온도는 13-17°C 범위 내에서의 온도 분포를 보였다. 실내온도는 1, 2, 3층은 약 16°C, 4층은 20°C로 측정되었다. 실내는 현재 조명과 일사에 의한 실내 발열만 있으며, 난방 미가동 상태이다. 전일사량의 경우, 기상스테이션을 이용한 측정값은 175.8W/m<sup>2</sup>이며 휴대용 일사측정기로 측정한 결과 외부에서 측정한 일사량의 약 25%가 중공층 내부로 투과하는 것으로 측정되었다. 박용규<sup>10)</sup>의 연구에 의하면 실내로 유입되는 일사량을 산출 방법에 따라 분석한 결과와 외부 전일사량과 비교하였다. 해당 유리의 물성치에 따라 그 결과는 상이하겠지만 평균적으로 외부 일사량 대비 블라인드를 내렸을 경우에는 13%, 내리지 않았을 경우에는 24%의 일사량이 실내로 유입되었다는 결과를 보여주었다. 이를 통해 휴대용 일사 측정 장치로 일사량을 측정한 결과가 타당하다고 판단된다.

## 5. CFD 시뮬레이션을 위한 Validation

### 5.1. CFD 시뮬레이션 개요

이중외피의 환기량 분석에 대한 기존 문헌들은 CFD 해석 모델의 경계 조건을 설정할 때, 대상 건물의 이중외피 개구부에 직접 풍속 값을 입력하여 분석을 진행하는 ‘Decoupled Simulation’ 방식이 대부분이다. 물론 분석하고자 하는 요소 및 대상에 따라 상이하겠지만, 환기량 분석의 경우에는 분석 방법에 대한 접근은 달라져야한다고 판단된다.

개구부 면에 직접 풍속 값을 입력하는 경우는 대상 건물 주변의 건물을 고려하지 않고 분석하였기 때문에 실제 환경과의 차이가 크다. 외부 기류는 주변 건물의 형태 및 규모, 밀집도 등의 환경에 따라 차이가 크므로 환기량을 분석할 경우에는 반드시 고려할 사항이다. 따라서 본 연구의 해석 모델은 Table 3의 a)에서와 같이 대상 건물과 외부 유동장을 형성하여 주변 건물까지 모델링을 하여

‘Coupled Simulation’ 방식으로 분석을 진행하였다.

CFD 시뮬레이션은 정상상태에서의 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes) 해석을 진행하였으며 Standard k-ε Turbulence Model을 사용하였다. 또한 온도차에 의한 부력의 영향을 반영하기 위해 Boussinesq Approximation을 이용하였다. 이는 자연환기 분석을 할 경우 고려해야할 사항이며 기존 선행 연구들을 참고하여 반영된 사항이다.<sup>11,12)</sup> 외부 기류에 대한 설정은 Wind Profile 수식을 Field Function에 입력하여 경계 조건을 설정하였다.

전일사량의 CFD 시뮬레이션 적용은 25%의 일사량에서 실내·외 온도차와 관류열량을 고려하여 Field Function을 이용하여 이중외피의 외피 3면에 적용하였다. 이중외피 시스템의 외측에 사용된 유리의 열관류율은 1.33W/m<sup>2</sup>·K이며, 이는 해당 유리의 시험 성적서를 통해 얻은 값이며, WINDOW 7.2를 이용한 값과 동일하다.

### 5.2. 실측과 CFD 시뮬레이션 결과 데이터 비교

실측과 CFD 시뮬레이션 결과 데이터를 도출하여 중공층 내의 온도 분포로 비교하였다. 그 결과 높이 변화에 따른 온도 상승 변화는 비슷한 양상을 보였다. (Table 4, Fig. 2~4)

하지만 3층의 온도에서 차이가 나게 된다. 이는 4층의 측정 포인트는 이중외피 상부 개구부와 가깝게 위치하였기 때문에 온도가 감소하는 것으로 나타나지만, CFD 시뮬레이션에서는 외피에 직접적으로 중공층 내부로 투과되는 일사량을 Heat Flux로 입력하였

Table 4. Comparison of the Measurement Temperature and Simulation Temperature

Floor	Measurement Data (°C)	Simulation Data (°C)
4F	16.37	15.75
3F	16.52	14.92
2F	15.60	14.25
1F	13.70	13.95
Average	15.55	14.72

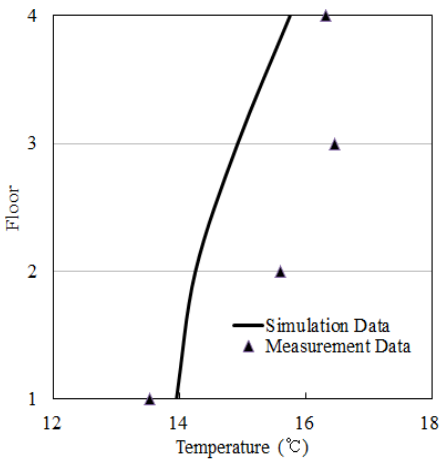


Fig. 2. Comparison of the Measurement Data and Simulation Data (Validation Result)

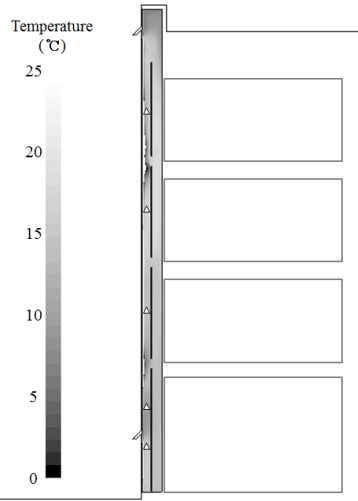


Fig. 3. Simulation Result (Temperature)

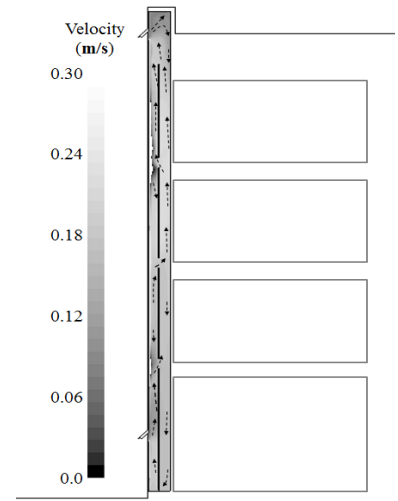


Fig. 4. Simulation Result (Velocity)

기 때문에 그 변화가 상이한 것으로 판단된다. 실측과 CFD 시뮬레이션 결과 중공층 4개 포인트의 평균 온도는 각각 15.55°C, 14.72°C로 나타났다. 평균 오차는 0.96°C로 ±3%이내(약 2.92%)이다.

이를 기준으로 5°C 간격으로 -5°C까지 6가지 경우를 설정하였다. 중공층 투과 일사량은 연중 전일사량 최대값(1,000W/m<sup>2</sup>)의 25%를 기준으로 3가지(250, 150, 50W/m<sup>2</sup>)를 적용하여 분석하였다.

## 6. 분석 Case 및 해석 조건 설정

풍압차와 실내·외 온도차에 의한 환기량 중 어떠한 요소가 이 중외피의 중공층 내의 환기량에 더 영향을 미치는지에 대한 여부를 도출하고자 하였다. 이에 따라 풍압과 부력에 영향을 미치는 4가지 인자(Factors : 풍속, 풍향, 외기온도, 일사량)를 이용하여 두 가지 Case 설정하여 비교하였다.

Case 1은 풍압차만 고려한 경우로 외부 기류 속도의 변화에 따른 환기량 분석이다. Case 2은 외부 기류에 의한 풍압과 실내·외 온도를 모두 고려한 경우로, 외부 기류 속도와 온도의 변화와 중공층 투과 일사량 변화(50, 150, 250W/m<sup>2</sup>)에 따른 환기량 분석이다.

CFD 해석을 위해 필요한 CFD Model과 경계 조건은 Case 1과 2 모두 Table 2의 내용과 동일하게 적용하였다. 그리고 풍압과 실내·외 온도차에 의한 환기량 변화 비율을 분석을 위한 Case 1과 2의 경계 조건은 Table 5와 같이 설정하였다.

풍속, 풍향, 외기온도, 중공층 투과 일사량은 기후 분석 데이터에 준하여 적용하였다. 풍속은 무풍(0.0m/s)인 경우를 포함하여 4.0m/s까지(0.0, 1.0, 2.0, 3.0 4.0m/s) 경우를 Wind Profile 수식(Table 3)의 10m 높이에서의 속도로 설정하였고, 풍향은 주풍향(S:남향)을 사용하였다.

외기온도는 실내온도 쾌적 범위의 최소값을 20°C라 가정하고

## 7. 분석 결과

### 7.1. Case 1 분석 결과 (풍압차에 의한 환기량)

외부 기류 속도 변화에 따른 중공층 환기량 분석(Case 1) 결과 그래프는 고정 변수인 외부 기류 속도를 기준으로 하여 도출하였다. 외부 기류의 속도 상승과 상하 개구부의 압력차가 커짐에 따라 중공층의 시간당 환기횟수가 증가하는 비례관계를 도출할 수 있었다. 외부 기류 속도 상승에 따라 상하 개구부의 압력 차는 0, 0.17, 0.48, 0.94, 1.56 Pa로 변화 상승폭이 크게 나타나지만 시간당 환기 횟수는 0, 11.28, 22.54, 33.38, 43.21 회/h로 일정하게 증가하는 것으로 나타났다. (Fig. 5)

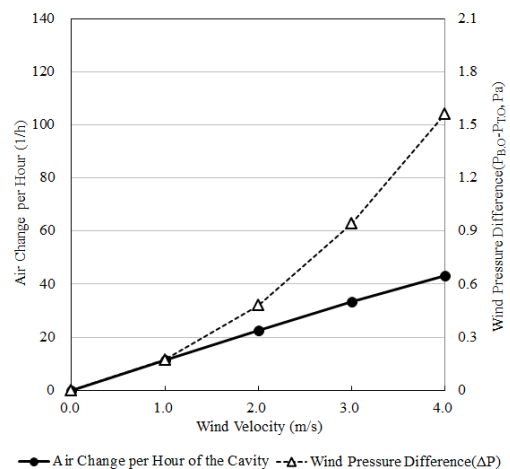


Fig. 5. Result of Case 1 (Wind Effect Only)

Table 5. Factors of the Case 1 and 2

Factors	Case 1	Case 2
Wind Velocity (m/s)	0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 (At 10m Height)	
Wind Direction	S (Annual Average Wind Direction)	
Outdoor Temperature (°C)		-5, 0, 5, 10, 15, 20
Transmission Solar Radiation in the Cavity (W/m <sup>2</sup> )	N/A	50, 150, 250

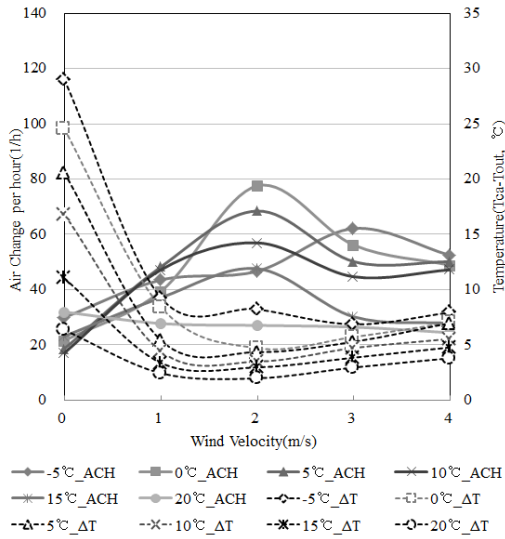


Fig. 6. Result of Case 2\_50W/m<sup>2</sup> (Wind and Buoyancy Effect)

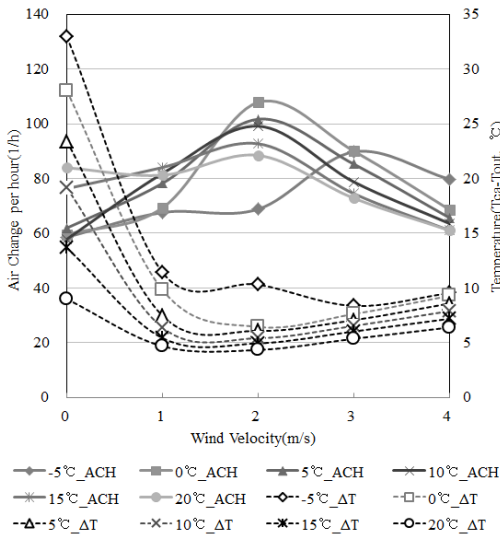


Fig. 7. Result of Case 2\_150W/m<sup>2</sup> (Wind and Buoyancy Effect)

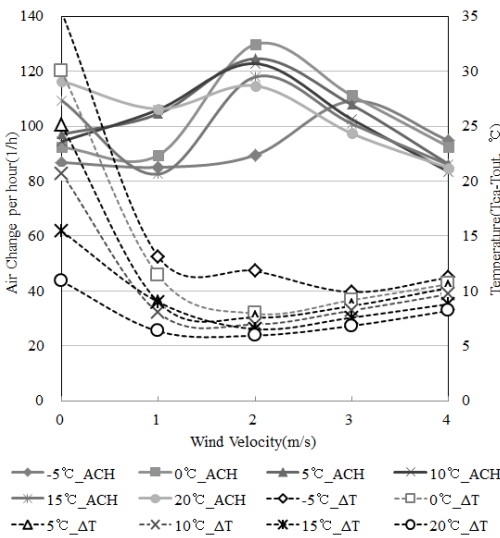


Fig. 8. Result of Case 2\_250W/m<sup>2</sup> (Wind and Buoyancy Effect)

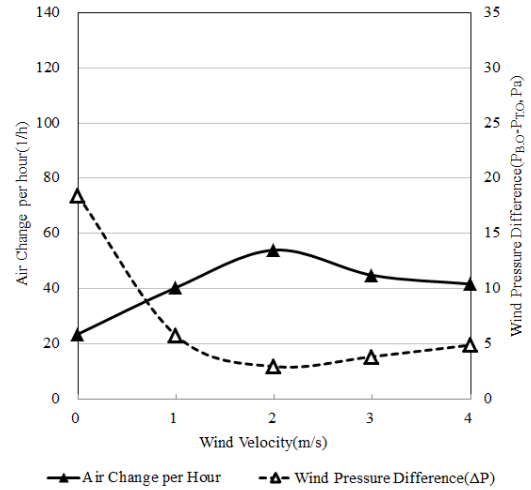


Fig. 9. Result of Case 2\_50W/m<sup>2</sup> (Wind and Buoyancy Effect) with the Wind Pressure Difference between Two Openings

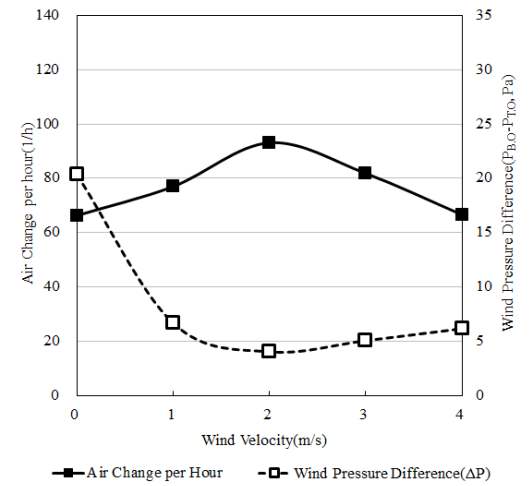


Fig. 10. Result of Case 2\_150W/m<sup>2</sup> (Wind and Buoyancy Effect) with the Wind Pressure Difference between Two Openings

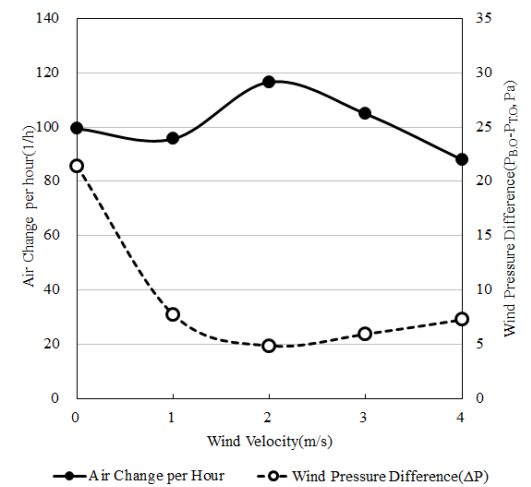


Fig. 11. Result of Case 2\_250W/m<sup>2</sup> (Wind and Buoyancy Effect) with the Wind Pressure Difference between Two Openings

### 7.2. Case 2 분석 결과

#### (풍압차와 실내·외 온도차에 따른 압력차에 의한 환기량)

풍압차와 실내·외 온도차에 따른 압력차에 의한 중공층 내의 환기량(Case 2) 분석을 위해 외기온도와 중공층 투과 일사량 변화를 통해 중공층의 환기량 변화를 분석하였다. (Fig. 6~8)

중공층 내의 시간당 환기 횟수 변화는 외부 기류 속도 2m/s까지 증가함에 따라 증가하는 비례 관계가 성립하는 것으로 나타났다. 속도 변화에 따른 환기량, 상하 개구부의 풍압차와의 관계를 추가적으로 알아보았다. (Fig. 9~11)

중공층 내·외부의 온도차는 외부 기류 속도가 0m/s일 경우가 평균 20.67℃로 상대적으로 큰 값을 보이며, 나머지 1, 2, 3, 4m/s의 경우는 각각 7.51, 6.11, 6.70, 7.98℃로 평균 7.08℃의 비슷한 온도차를 보였다. 또한 2m/s를 기준으로 온도차가 미비하게 상승하는 것으로 나타났다.

하지만 기류 속도가 2m/s보다 커질수록 환기량이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 기류 속도가 빨라지면서 온도 차이는 감소하게 되고, 이에 따른 부력에 의한 영향 감소 때문이며, CFD 시뮬레이션 상에서의 유체의 점성(Viscosity)과 중공층 내부 표면의 마찰에 의한 영향 감소 또한 그 이유라고 판단된다. 또한 현재 이중외피의 상하 개구부가 동일한 남측면에 위치해 있기 때문에 기류 속도가 일정 속도 이상으로 상승하면 중공층 내부로 들어오는 공기량에 미치는 부정적인 영향도 동시에 증가한다고 판단된다.

### 7.3. 결과 비교 (풍압과 부력 효과의 비율 비교)

풍압차에 의한 환기량 분석(Case 1)과 풍압차와 실내·외 온도차에 따른 압력차에 의한 환기량 분석(Case 2)의 결과를 통해 환기량에서 각각 풍압과 부력의 영향이 차지하는 비율을 도출하여 비교하였다.

이 비율은 Case 1과 Case 2의 차를 통해 얻어진 값이며, 중공층 내로 투과되는 일사량 50, 150, 250W/m<sup>2</sup>을 기준으로 도출하였다.

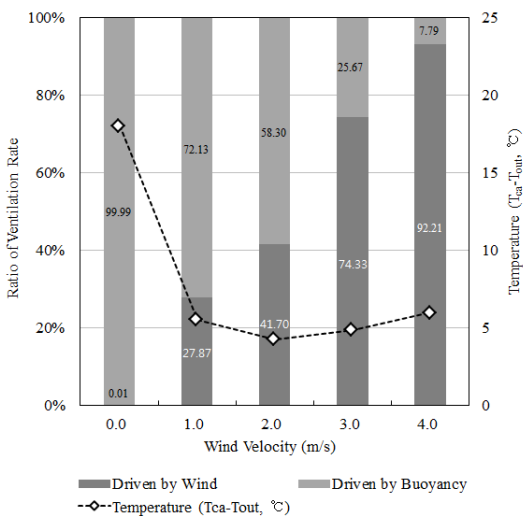


Fig. 12. Comparison of the Ventilation Rate Ratio (Wind-to-Buoyancy Effect Ratio, 50W/m<sup>2</sup>)

외부 기류 속도에 따라 총 시간당 환기 횟수는 다르지만 백분율로 하여 그 비율을 비교하고자 하였다. (Fig. 12~14, Table 6)

그 결과 각각 일사량 변화에 따른 실내·외 온도차의 변화 패턴은 동일하게 나타났으며, 부력에 의한 영향은 중공층 내부로 투과되는 일사량이 250W/m<sup>2</sup>일 경우가 가장 높게 나타났다. 또한 중공층 내부로 투과되는 일사량이 50W/m<sup>2</sup>일 경우와 비교하였을 때, 외기온도와 중공층 내부의 온도차가 낮고 외부 기류 속도가

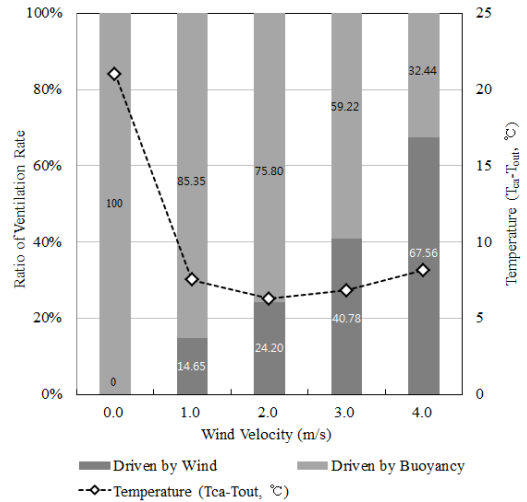


Fig. 13. Comparison of the Ventilation Rate Ratio (Wind-to-Buoyancy Effect Ratio, 150W/m<sup>2</sup>)

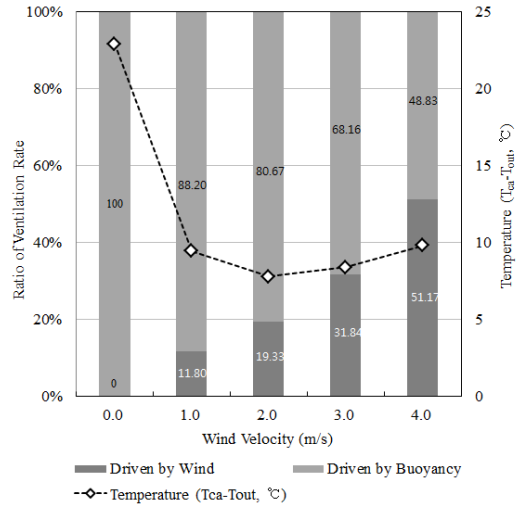


Fig. 14. Comparison of the Ventilation Rate Ratio (Wind-to-Buoyancy Effect Ratio, 250W/m<sup>2</sup>)

Table 6. Comparison Results of the Ventilation Rate Ratio

Transmission Solar Radiation in the Cavity (W/m <sup>2</sup> )	Velocity (m/s)	Wind-to-Buoyancy Ratio				
		0.0	1.0	2.0	3.0	4.0
50	Wind (%)	0.01	27.87	41.70	74.33	92.21
	Buoyancy (%)	99.99	72.13	58.30	25.67	7.79
150	Wind (%)	0.00	14.65	24.20	40.78	67.56
	Buoyancy (%)	100.00	85.35	75.80	59.22	32.44
250	Wind (%)	0.00	11.80	19.33	31.84	51.17
	Buoyancy (%)	100.00	88.20	80.67	68.16	48.83

증가할 때, 환기량의 비율에서 차지하는 부력의 영향은 감소하고 풍압의 영향이 증가하는 것으로 나타났다.

### 8. 결론

본 연구는 자연환기를 활성화하는 요인인 외부기류에 따른 풍압차와 실내·외 온도차에 의한 압력차(부력)에 따른 환기량 비율 분석을 통해 다층형 이중외피의 자연환기 성능 분석을 하였다. 이를 통해 어떠한 요소가 다층형 이중외피의 환기 효율에 더 영향을 미치는지를 수치로 도출하였다. (Fig. 15, Table 7)

그 결과 외부 기류 속도가 2.0m/s일 때 시간당 환기 횟수가 가장 높게 나타났으며, 실내·외 온도차는 6.11℃로 가장 낮은 값을 보였다. 시간당 환기 횟수의 변화는 외부 기류 속도가 2.0m/s보다 높을수록 점점 감소하는 것으로 나타났으며, 이때 부력의 영향이 차지하는 비율 또한 감소하는 것으로 나타났다.

하지만 외부 기류 속도가 증가함에 따라 풍압차에 의한 영향이 차지하는 비율은 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다.

이것으로 보아 개구부가 동일한 방향의 외피 면에 설치된 다층형 이중외피의 중공층 내부의 시간당 환기횟수는 기류 속도가 2m/s까지는 증가하고 이보다 높아질 경우 감소하게 된다. 이것은 외부 기류 속도가 일정 속도 이상의 상승으로 인해 부력에 의한 영향이 감소하는 나타났다. 추가적으로 CFD 시뮬레이션 상에서의 유체의 점성과 중공층 내부 표면의 마찰에 의한 영향 감소 또한 중공층 내부의 시간당 환기횟수 감소의 이유가 된다고 판단된다.

본 연구 결과는 실제 건물의 설계 및 운영 단계에서의 분석 절

차의 한 부분으로 사용됨을 목적으로 두고 있으며, 다층형 이중외피의 환기 효율은 개구부 위치 및 중공층 규모 계획에 따라 상이하지만, 기류 속도에 따른 부력의 영향은 동일할 것으로 예측하는 바이다. 따라서 대상 지역의 기상 데이터를 기반으로 진행한 본 연구 분석의 방법 및 결과가 객관적인 자료가 될 수 있을 것이라고 판단된다.

또한 다층형 이중외피의 개구부 계획에 따라 환기 효율에서 차지하는 풍압과 부력의 영향 비율을 비교 분석하는 추가적인 연구의 필요성이 있으며, 이를 통해 본 연구의 객관화가 더 확립될 것이라 판단된다.

### Acknowledgements

This research was supported by a grant (11 High-tech Urban G03) from High-tech Urban Development Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

### Reference

- [1] Tobias Schulze, "Controlled Natural Ventilation for Energy Efficient Buildings", Energy and Buildings 56, 2013
- [2] Elisabeth Gratia, "Natural Ventilation in a Double-Skin Facade", Energy and Buildings 36, 2004
- [3] Volker Huckemann, "Empirical thermal comfort evaluation of single and double skin facades", Building and Environment 45, 2010
- [4] Yu-Min Kim, "Contribution of natural ventilation in a double skin envelope to heating load reduction in winter", Building and Environment 44, 2009
- [5] Yugu Li, "Natural Ventilation Induced by Combined Wind and Thermal Forces", Building and Environment 36, 2001
- [6] E. Oesterle, R. Lieb, M. Lutz, W. Heusler, Double-Skin Facades Integrated Planning, Prestel Verlag, Munich, 2001, p. 12-25
- [7] 이승원, "공동주택 이중창호 운영모드의 냉방에너지 저감 효과", 연세대학교 일반대학원 건축공학과, 석사학위논문, 2013 // (Seoung Won Lee, "Cooling Energy Reduction Effect of Double-Window System Operation in Residential Buildings", Yonsei University, Dept. of Architectural Engineering, Thesis for Master's degree, 2013)
- [8] 전홍균, "단일 단순수직통로의 연돌효과와 중성대에 관한 수치해석 연구", 한국화재소방학회 논문지, 제23권 제5호, 2009 // (Heung-Kyun Jeon, "A Numerical Study on the Stack Effect and the Neutral Plane of a Single Simplified Shaft", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 23, No. 5, 2009)
- [9] S. Kato, S. Murakami, "New Ventilation Efficiency Scales based in Spatial Distribution of Contaminant Concentration Aided by Numerical Simulation", ASHRAE Transactions, 94(2), 309-330, 1988
- [10] 박웅규, 강규민, 박준원, 이상엽, "일사 차폐 장치가 있는 외피의 실내 유입 일사량 산출 방법", 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp.155~161, 2012 // (Woong-kyu Park, Gyu-min Kang, Jun-Won Park, Sang-Yeop Lee, "Calculation Method of Indoor Solar Heat Gain in Building Envelope with Shading Device", Journal of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 2012)
- [11] Mona Azarbayjani, "Beyond Arrows : Energy Performance of a New, Naturally Ventilated Double Skin Facade Configuration for a High-Rise Office Building in Chicago", The degree of Doctor of Philosophy in Architecture in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2010
- [12] P. Amparo Lopez-Jimenez, "Model of Ventilated Facade in Buildings by Using CFD Techniques", International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, 2010
- [13] Joseph M. Horan, "Sensitivity of air change rates in a naturally

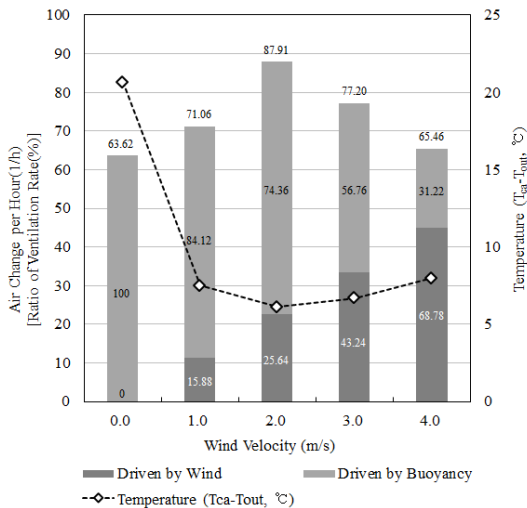


Fig. 15. Comparison of the Ventilation Rate Ratio (Wind-to-Buoyancy Effect Ratio, Average) with Temperature Difference( $T_{ca}-T_{out}$ )

Table 7. Comparison Results of the Ventilation Rate Ratio (Average)

Velocity (m/s)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Wind (%)	0.00	15.88	25.64	43.24	68.78
Buoyancy (%)	100.00	84.12	74.36	56.76	31.22



- ventilated atrium space subject to variations in external wind speed and direction”, *Energy and Buildings* 40, 2008
- [14] Miguel Mora-Perez, “Quantification of Ventilated Facade Effect Due to Convection in Buildings, Buoyancy and Wind Driven Effect”, *Researches and Applications in Mechanical Engineering Vol 3*, 2014
- [15] Camille Allocca, “Design Analysis of Single-Sided Natural Ventilation”, *Energy and Buildings* 35, 2003
- [16] Zhiqiang(John) Zhai, “Assessment of natural and hybrid ventilation models in whole-building energy simulations”, *Energy and Buildings* 43, 2011
- [17] Sabrina Barbosa, “Perspectives of double skin facades for naturally ventilated buildings: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40, 2014
- [18] Kal Terpager Andersen, “Theory for natural ventilation by thermal buoyancy in one zone with uniform temperature”, *Building and Environment* 38, 2003
- [19] Wenting Ding, “Natural ventilation performance of a double-skin facade with a solar chimney”, *Energy and Buildings* 37, 2005
- [20] G. Evola, “Computational analysis of wind driven natural ventilation in building”, *Energy and Buildings* 38, 2006
- [21] R. Hosegg, “Building simulation as an assisting tool in decision making Case study: With or without a double-skin facade?”, *Energy and Buildings* 40, 2008
- [22] Wong Nyuk Hien, “Effects of double glazed facade on energy consumption, thermal comfort and condensation for a typical office building in Singapore”, *Energy and Buildings* 37, 2005
- [23] 유복희, “가구배치 형태에 따른 실내기류 분포 및 환기효율 분석”, *대한건축학회논문집, 계획계, 제18권 제12호*, 2002 // (Bok-hee Yoo, “An Analysis of the Ventilation Efficiency and Airflow Distribution with the Different Types of Furniture Arrangement”, *Journal of the Architectural Institute of Korea, Planning & Design, Vol. 18, No. 12, 2002*)