

## 지하공간의 자연환기를 위한 태양 굴뚝 시스템의 응용

장향인\*, 서승직\*\*

\*인하대학교 대학원 건축공학과(hyaniguy@inha.edu),  
\*\*인하대학교 건축공학과 교수(energeti@inha.ac.kr)

### Application of Solar Chimney System for Natural Ventilation in Underground Space

Jang, Hyang-In\* Suh, Seung-Jik\*\*

\*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Inha University(hyaniguy@inha.edu),  
\*\*Dept. of Architectural Engineering, Inha University(energeti@inha.ac.kr)

#### Abstract

This study analyzed the performance of solar chimney system for natural ventilation in underground space. A mathematical model of the solar chimney was proposed in order to predict its performance under varying parameters and Korea climatic condition. Steady state heat transfer equations were set up using a energy balanced equations and solved using a inverse matrix method. Numerical simulation program to analyze system was developed by using MATLAB.

As the results, the ventilation performance of the solar chimney was determined by the temperature difference of air channel and inlet, and the temperature difference was influenced by insolation, stack height and distance of air gap. Also the solar chimney system can provide 262.9m<sup>3</sup>/h of annual average ventilation rate. Because seasonal differences of ventilation rate was calculated within 25%, the solar chimney system can be used for every season in Korea climatic condition.

Through this study, performance of solar chimney system for natural ventilation was verified by numerical method. Consequently, the solar chimney system is proved to be effective device for natural ventilation utilizing at all times, and the additional studies should be made through the experimental method for imagineering and commercialization.

Keywords : 태양굴뚝(Solar chimney), 자연환기(Natural ventilation), 연돌효과(Stack effect), 수치해석 (Numerical analysis), 매트랩(MATLAB)

## 기 호 설 명

$A_f$	: 중공층 면적 ( $m^2$ )
$A_{fi}$	: 중공층 유입구 면적 ( $m^2$ )
$C_f$	: 공기의 비열 ( $J/kgK$ )
$C_{so}$	: 토양의 평균 비열 ( $J/kgK$ )
$D$	: 중공층 두께 ( $m$ )
$H$	: 중공층 높이 ( $m$ )
$hc$	: 전도 열전달계수 ( $W/m^2K$ )
$hr$	: 복사 열전달계수 ( $W/m^2K$ )
$hv$	: 대류 열전달계수 ( $W/m^2K$ )
$I_{vt}$	: 남측수직면일사량 ( $W/m^2$ )
$k_{so}$	: 토양의 열전도율 ( $W/mK$ )
$\dot{m}$	: 질량유량 ( $kg/s$ )
$\dot{q}$	: 중공층 공기열유속 ( $W/m^2$ )
$S_1$	: 투과체흡수일사량 ( $W/m^2$ )
$S_2$	: 흡수체흡수일사량 ( $W/m^2$ )
$T$	: 온도 ( $K$ )
$T_{amp}$	: 지표면온도의 진폭 ( $^{\circ}C$ )
$T_{grd,dp}$	: 깊이(dp)의 지중 온도 ( $^{\circ}C$ )
$T_{mean}$	: 연평균 지표면 온도 ( $^{\circ}C$ )
$t_{now}$	: 해당연도의 현재일수 (일)
$t_{sft}$	: 최저온도의 시간차 (일)
$\bar{V}_s$	: 중공층 체적유량( $m^3/s$ )
$W$	: 중공층 너비 ( $m$ )
$\alpha$	: 흡수율
$\alpha_{so}$	: 토양의 열확산율 ( $m^2/day$ )
$\gamma$	: 중공층 평균온도근사계수
$\varepsilon$	: 방사율
$\eta$	: 시스템효율
$\lambda_{grd}$	: 지면의 반사율
$\rho$	: 밀도( $kg/m^3$ )
$\tau$	: 투과율
$Gr$	: Grashof number
$Nu$	: Nusselt number
$Pr$	: Prandtl number
$Ra$	: Rayleigh number
$g$ (하첨자)	: 투과체
$f$ (하첨자)	: 중공층
$w1$ (하첨자)	: 흡수체외표면
$w2$ (하첨자)	: 흡수체내표면

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

기후변화에 따른 저탄소·녹색성장은 우리나라뿐만 아니라 전 세계가 나아가야 할 시대적 흐름이며 방향이다. 국내 총에너지 소비의 약 23%가 건물분야에서 사용되는 상황에서, 건물에너지 소비 절감을 위한 다양한 방법들이 연구 개발되고 있다. 본 논문에서는 이런 건물 에너지 효율화 기술 중 하나인 자연형 태양열 설계 기법 가운데 태양굴뚝을 통한 자연 환기 방식에 관하여 정량적으로 분석을 수행하였다.

분석 대상은 오염이 심한 반면 자연환기에 취약한 구조로 환기를 기계 환기수단에만 의존하고 있는 지하공간을 대상으로 하였다. 자연 환기를 증대시키고 에너지 효율을 향상시키는 자연 환기 시스템의 연구는 건물의 환경 부하를 줄이고, 주거 환경을 개선하는 진정한 의미의 환경 친화적인 건축을 실현하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 태양 굴뚝 자연 환기 시스템의 응용 가능성을 평가하기 위해 시스템의 환기 성능을 결정하는 여러 변수들에 대한 성능 비교와 연간 환기 성능을 분석하였다. 건축 설계를 위한 기초 자료로 활용될 수 있도록 이론적인 체계 수립과 수치해법에 따른 분석에 초점을 맞추었다.

시스템의 성능은 일사량, 높이, 두께 등의 변수 변화에 따른 중공층의 평균유속, 질량유량, 체적유량, 시스템효율을 분석함으로써 평가하였다. 시스템의 연간 환기 성능은 적절한 단위 모델을 선정 후 서울 지역의 기상데이터를 적용해 환기량을 분석하여 국내 기후 조건에서의 시스템의 실제 활용 가능성을 검증하였다.

이를 위해 시스템의 해석에 적합한 열평형

방정식을 수립하고, MATLAB을 이용하여 해석 프로그램을 작성하였으며, 시스템에 대한 다양한 정량적 분석에 관한 연구를 수행하였다.

## 2. 태양 굴뚝 시스템의 개요

그림 1은 태양 굴뚝 자연 환기 시스템의 구성 및 원리를 나타낸 개념도이다. 시스템은 투과체, 중공층, 흡수체(집열체)로 구성된다. 투과체는 유리, 흡수체는 기존 건물벽체에 무광택 검정페인트로 도장한 알루미늄판을 부착해 구성한다. 중공층은 상·하부에는 공기가 유출입할 수 있는 통기구를 설치했다.

시스템은 연돌효과(Stack Effect)에 의해 지하 공간에 자연 환기를 제공하며, 열부하에 미치는 영향을 최소화하기 위해 배기구로서의 기능만 수행한다. 중공층 온도가 유입구의 온도보다 낮은 경우에는 유입구가 차단되어 환기가 발생하지 않도록 설정하였다.

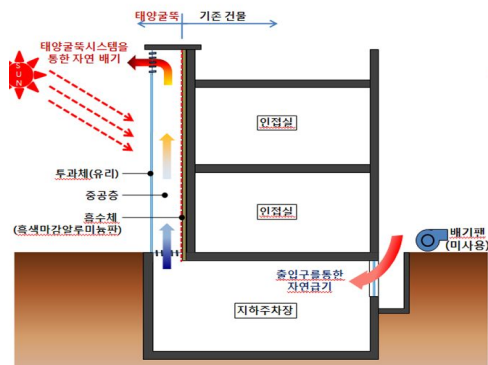


그림 1. 시스템 개념도

## 3. 이론적 분석

시스템 해석을 위한 열수지 모델은 그림 2와 같으며, 전도, 대류, 복사의 복합 열전달 메커니즘을 갖는다. 이론적 분석을 단순화하기 위한 기본 가정은 다음과 같다.

- 1) 시스템 해석은 1차원 정상상태 열전달 문제로 간주한다.
- 2) 중공층 공기를 제외한 모든 재료의 물성값은 온도 변화와 무관하다.
- 3) 유출구의 외기에 의한 영향과 일사량 계산 시 음영의 영향은 무시한다.
- 4) 모든 표면은 회색체로 간주한다.
- 5) 흡수체와 유리의 열용량은 무시한다.
- 6) 지표면의 온도는 외기온도 동일하다

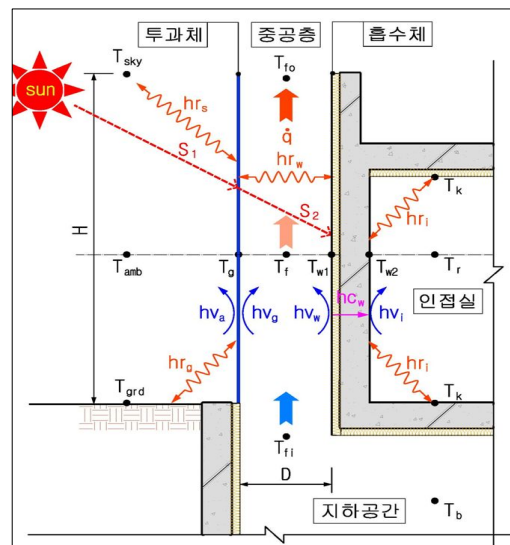


그림 2. 시스템 해석 개념도

### 3.1 에너지평형방정식

시스템 해석을 위한 에너지평형 방정식은 다음과 같이 크게 네 부분(투과체, 중공층, 흡수체 외표면, 흡수체 내표면)으로 나누어 수립할 수 있으며 식(1)~(4)와 같다.

$$S_1 - hv_a(T_g - T_{amb}) - hr_s(T_g - T_{sky}) - hr_g(T_g - T_{grd}) + hv_g(T_f - T_g) + hr_w(T_{w1} - T_g) = 0 \quad (1)$$

$$-\dot{q} - hv_g(T_f - T_g) + hv_w(T_{w1} - T_f) = 0 \quad (2)$$

$$S_2 - hv_w(T_{w1} - T_f) - hr_w(T_{w1} - T_g) + hc_w(T_{w2} - T_{w1}) = 0 \quad (3)$$

$$-hc_w(T_{w2} - T_{w1}) + hr_i(T_k - T_{w2}) + hv_i(T_r - T_{w2}) = 0 \quad (4)$$

식(2)의  $\dot{q}$ 는 중공층 온도가 유출입구의 온도와 차이가 있는 경우 자연대류로 인해 공기에 전달되는 열유속(heat flux)을 나타내며 식(5)에 의해 계산된다. 중공층 내 평균온도는 식(6)와 같이 표현할 수 있으며 이에 따라 식(5)는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $\gamma$ 는 ‘평균온도근사계수’로 Ong과 Chow가 제안한 0.74를 사용하였다.<sup>1)</sup>

$$\dot{q} = \frac{\dot{m} C_f (T_{fo} - T_{fi})}{WH} \quad (5)$$

$$T_f = \gamma T_{fo} + (1 - \gamma) T_{fi} \quad (6)$$

$$\dot{q} = \frac{\dot{m} C_f (T_f - T_{fi})}{\gamma WH} \quad (7)$$

질량유량  $\dot{m}$ 은 식(9)에 의해 계산할 수 있다. 식(9)에서  $C_1 \left(\frac{A_f}{A_{fi}}\right)^2 + C_2$ 은 압력손실을 나타내며  $C_1$ 과  $C_2$ 는 무차원상수로 Trombe 등이 제안한 상수 8과 2를 사용하였다.<sup>2)</sup>

$$V_f = \sqrt{\frac{2gH}{C_1 \left(\frac{A_f}{A_{fi}}\right)^2 + C_2} \frac{(T_f - T_{fi})}{|T_f|}} \quad (8)$$

$$\dot{m} = V_f \cdot A_f \cdot \rho_f \quad (9)$$

### 3.2 열전달계수의 계산

외기에 면한 투과체 수직면에서의 대류열 전달계수는 Watmuff 등이 제안한 식을 사용하였으며<sup>3)</sup>. 중공층 내부의 공기유동을 수직면의 자연대류현상으로 보면 대류열전달계수는 식(11)을 통하여 계산할 수 있다.

$$h v_a = 2.8 + 3.0 V_a \quad (10)$$

$$h v_{w,g} = \frac{Nu \cdot k}{H} \quad (11)$$

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right]^2 \quad (12)$$

흡수체 내표면과 실내와의 대류열전달계수는 Griffiths와 Davis가 제안한 실험식인 식(13)을 이용하여 계산한다.<sup>4)</sup> 투과체 수직벽면과 천공, 투과체 수직벽면과 지면사이의 복사열전달계수는 식(14), (15)와 같다.

$$h v_i = 1.7 \cdot (T_{w2} - T_r)^{1/4} \quad (13)$$

$$h r_s = 0.5 \cdot \sigma \cdot \epsilon_g \cdot (T_g^2 + T_{sky}^2)(T_g + T_{sky}) \quad (14)$$

$$h r_g = 0.5 \cdot \sigma \cdot \epsilon_g \cdot (T_g^2 + T_{gd}^2)(T_g + T_{gd}) \quad (15)$$

투과체와 흡수체 외표면 사이, 흡수체 내표면과 실내벽 사이의 복사열전달계수는 식(16), (17)을 이용하여 계산할 수 있다.<sup>5)</sup>

$$h r_w = \sigma \cdot \frac{1}{1/\epsilon_g + 1/\epsilon_{w1} - 1} (T_g^2 + T_{w1}^2)(T_g + T_{w1}) \quad (16)$$

$$h r_i = \sigma \cdot \epsilon_{w2} \epsilon_k \cdot (T_{w2}^2 + T_k^2)(T_{w2} + T_k) \quad (17)$$

### 3.3 지하공간의 온도 계산

환기 대상인 지하 공간의 온도 계산을 단순화하기 위하여 기본 가정은 다음과 같다.

- 1) 지하공간은 비난방실이며, 유입구의 온도는 지하 공간의 평균 온도와 동일하다.
- 2) 환기횟수는 시간당 3회로 설정하며, 외기만을 흡기하는 것으로 가정한다.
- 3) 지하공간은 평면은 정사각형, 층고는 3m, 면적은 1000m<sup>2</sup>로 가정한다.
- 4) 지하공간의 상부면 온도는 인접실 온도, 벽면의 평균온도는 1.5m의 지중온도, 바닥면의 온도는 3.0m의 지중온도로 가정한다.

1) K.S. Ong, C.C. Chow, Performance of a solar chimney, Solar Energy, Vol. 74, pp. 1-17, 2003.

2) Trombe, F., Robert, J. F., Cabanot, M., and Sesolis, B., Concrete Walls to Collect and Hold Heat, Solar Age, Vol 2, pp 13-19, 1977.

3) Watmuff, J.H., W. W. S. Charters, and D. Proctor, Solar and Wind induced External Coefficients for Solar Collectors, CPMPLES, No.2, p. 56, 1977.

4) 대한건축학회, 건축환경계획, 기문당, 2003.

5) 서승직 외, 건축환경공학, 일진사, 2004.

지하공간의 온도 계산을 위한 지중 온도는 T. Kusuda 가 제안한 식(18)를 이용하여 계산하였고,<sup>6)</sup> ETIS 분석지에 제공된 서울 지역 월평균 지중 온도와 동일한 분포 패턴을 만들기 위해 연평균지표면온도 14℃, 지표면 온도진폭 15℃, 최저온도시간차 25일의 값을 사용하였다.<sup>7)</sup> 지하 공간의 실내 온도는 식(19)을 통해 계산할 수 있다.

$$T_{gr,d,dp} = T_{mean} - T_{amp} \cdot \exp\left[-dp\left(\frac{\pi}{365\alpha_{so}}\right)^{0.5}\right] \quad (18)$$

$$\begin{aligned} & \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{365}\left\{t_{now} - t_{sft} - \frac{dp}{2}\left(\frac{365}{\pi\alpha_{so}}\right)^{0.5}\right\}\right] \\ T_b = & \frac{\sum_{i=1}^n (A_{bi} \cdot K_{bi} + \frac{C_{bi} \cdot \rho_{bi} \cdot V_{bi}}{3600}) T_{bi}}{\sum_{i=1}^n (A_{bi} \cdot K_{bi} + \frac{C_{bi} \cdot \rho_{bi} \cdot V_{bi}}{3600})} \quad (19) \end{aligned}$$

### 3.4 환기량 및 시스템효율

중공층 평균유속, 환기량(체적유량), 시스템효율은 다음 식을 이용하여 산출하였다.

$$V_f = \frac{\dot{m}}{A_f \cdot \rho_f} \quad (20)$$

$$\bar{V}_s = \frac{\dot{m}}{\rho_f} \quad (21)$$

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_f \cdot (T_{fo} - T_{fi})}{W \cdot H \cdot I_{vt}} \times 100 \quad (22)$$

### 3.5 재료 물성값 및 수렴 조건

건물 벽체와 슬라브는 모두 동일하게 구성된 것으로 가정하였고, 태양굴뚝과 건물 기존 벽체의 구성 및 물성값은 표 1과 같다.

표 1. 재료의 물성값

구분	토양	유리	알루미늄	기존 건물 벽체	
				단열재	콘크리트
두께		0.005	0.001	0.05	0.2
열전도율	2.42	1.05	210.1	0.036	1.73
밀도	3,200	2,510	2,700	30	2,243
비열	840	820	880	1,380	840
흡수율		0.06	0.95		0.7
방사율		0.90	0.94		0.8
투과율		0.84			
열확산율	0.078				

시스템의 열평형방정식은 역행렬법을 이용하여 해를 구하고, 이 해가 오차 범위에 수렴할 때까지 반복함으로써 시스템의 근사해를 계산하였으며 수렴조건은 다음과 같다.

$$\left| \frac{T_f^{n+1} - T_f^n}{T_f^{n+1}} \right| \leq 10^{-5} \quad (23)$$

## 4. 변수에 따른 시스템 성능 분석

시스템의 성능 분석을 위해 주요 변수의 입력값 및 기상 조건은 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션 주요 입력값

항 목	기 본 값	분 석 값
일사량 (W/m <sup>2</sup> )	200	100~1,000
중공층 높이 (m)	10	5~50
중공층 두께 (m)	0.5	0.2~2
풍 속 (m/s)		2.4
외기온도 (K)		285
유입구 온도 (K)		287
인접실 온도 (K)		296
중공층 너비 (m)		1

### 4.1 일사량 변화에 따른 시스템 성능

그림 3은 일사량의 변화에 따른 각 부분의 시스템 성능을 나타낸 것이다.

6) Kasuda, T., and Archenbach, P.R. "Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States", ASHRAE Transactions, Vol. 71, Part 1, 1965

7) 이재혁, 복토주벽의 복토 방법에 따른 열부하 패턴에 관한 연구, 인하대학교 대학원 석사학위논문, p18, 2008.

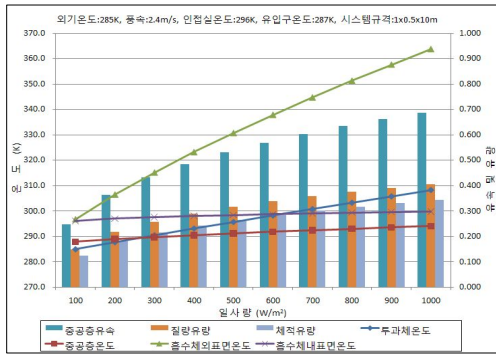


그림 3. 일사량 변화에 따른 시스템 성능

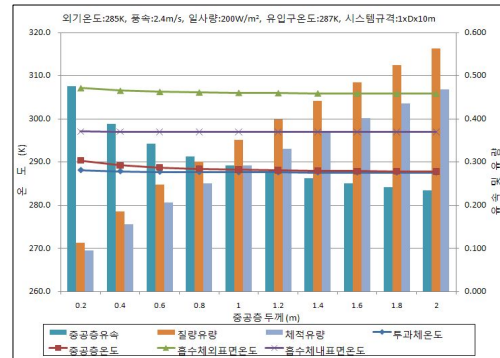


그림 5. 중공층 두께 변화에 따른 시스템 성능

일사량이 증가할수록 중공층의 평균온도가 상승하고, 이로 인해 중공층 내의 평균유속이 증가하여 질량유량과 환기량이 증가하는 것으로 나타났다.

#### 4.2 중공층 높이(H) 변화에 따른 성능

그림 4는 중공층의 높이 변화에 따른 시스템 성능을 나타낸다. 중공층의 높이가 높아질수록 시스템이 획득하는 총일사량이 증가해 중공층의 평균온도가 상승하고 이에 따라 중공층 내의 평균유속이 증가하여 질량유량과 환기량이 증가하는 것으로 나타났다.

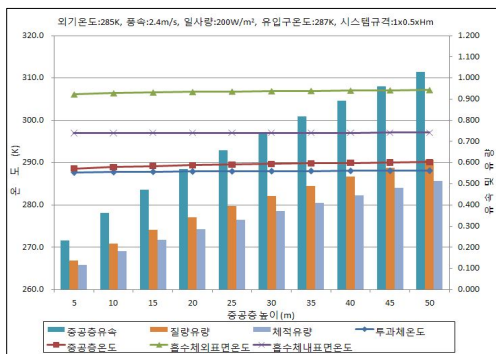


그림 4. 중공층 높이 변화에 따른 시스템 성능

#### 4.3 중공층 두께(D) 변화에 따른 성능

그림 5는 중공층의 두께 변화에 따른 시스템 성능을 나타낸다.

중공층의 두께가 증가할수록 중공층의 평균온도가 감소하고, 이로 인해 중공층 내의 평균유속이 감소한다. 하지만 질량유량과 환기량은 중공층 두께 증가로 인한 면적 증가에 의해 증가하는 것으로 나타났다.

### 5. 시스템 연간 성능 분석

시스템의 연간 성능을 평가하기 위한 단위 모델은 남측면에 중규모 건물에 적용 가능한 크기인 1m\*0.5m\*10m로 선정하였다. 인접실의 설정온도는 난방기 293K, 냉방기 299K, 중간기 296K로 설정하였다.

표 3. 월평균 기상데이터

월	외기 온도 (K)	풍속 (m/s)	수직면 일사량 (W/m²)	인접실 온도 (K)	지하층 온도 (K)
1	269.9	2.5	122.8	293.0	275.9
2	271.8	2.7	136.9	293.0	276.8
3	277.7	2.9	125.4	296.0	281.0
4	284.9	3.0	112.2	296.0	285.9
5	290.6	2.6	84.1	296.0	290.1
6	294.3	2.3	76.4	299.0	293.6
7	297.8	2.3	66.4	299.0	296.5
8	298.6	2.2	76.1	299.0	297.5
9	293.5	2.0	109.3	296.0	293.8
10	287.4	2.0	122.3	296.0	289.6
11	279.7	2.4	114.9	296.0	284.1
12	272.8	2.4	103.7	293.0	278.5
평균	284.9	2.4	104.2	296.0	286.9

표 3은 외기온도, 수직면일사량, 지하층온도를 월별로 분석한 표이다. 연간 분석을 위한 기상데이터는 TRNSYS에서 제공되는 서울 지역의 기상데이터를 이용하였으며, 수직면 일사량은 TRNSYS의 일사량 계산 컴포넌트인 Type 109를 이용하여 계산하였다.

### 5.1 일평균 성능 분석

그림 6은 일평균 시스템 환기 성능을 나타낸 것이다. 연중 거의 모든 날에 태양굴뚝 시스템을 통한 자연환기가 이루어지며 일평균 환기량은 262.9(m<sup>3</sup>/h)이고 최대 환기량은 458.9(m<sup>3</sup>/h)인 것으로 분석됐다.

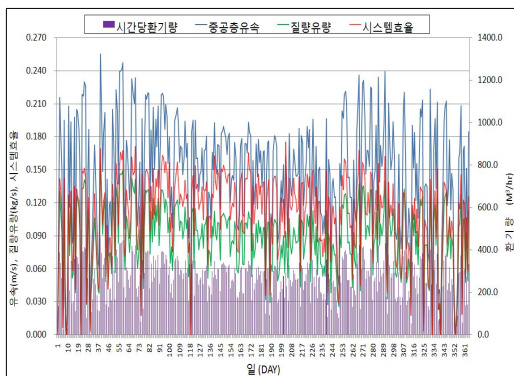


그림 6. 일평균 시스템 성능

### 5.2 월평균 성능 분석

표 4는 월평균 시스템 환기 성능을 나타낸 것이다. 시스템의 월평균 환기량은 219.4~296.0(m<sup>3</sup>/h)의 범위이며, 최대 환기량 발생월은 3월, 최소 환기량 발생월은 12월로 나타났다.

그러나 환기량의 차이는 대략 25% 이내로 모든 계절에 태양 굴뚝 자연 환기 시스템이 활용되어질 수 있음을 보여준다.

### 5.3 계절별 성능 분석

환기량을 계절별로 살펴보면 봄>가을>여름>겨울 순으로 나타났으며 표 5와 같다. 시스템의 환기 성능은 중공층과 유입구의 온도

차에 의해 결정된다. 이 온도차는 여러 변수가 복합적으로 작용하므로 일반화하기에는 어려움이 있지만 주요 변수인 일사량, 지하온도, 외기온도로 살펴보면 그림 7과 같다.

표 4. 월평균 시스템 환기 성능

월	평균 유속 (m/s)	질량 유량 (kg/s)	체적 유량 (m <sup>3</sup> /s)	시스템 효율 (%)	시간당 환기량 (m <sup>3</sup> /h)
1	0.127	0.078	0.064	8.5	228.9
2	0.157	0.096	0.078	10.7	282.5
3	0.164	0.100	0.082	11.8	296.0
4	0.163	0.097	0.081	12.3	293.1
5	0.157	0.093	0.078	12.8	281.8
6	0.150	0.088	0.075	12.4	270.6
7	0.136	0.079	0.068	11.4	244.9
8	0.137	0.079	0.069	10.9	246.9
9	0.153	0.089	0.076	11.2	274.6
10	0.155	0.092	0.078	10.9	279.6
11	0.131	0.079	0.066	8.8	236.3
12	0.122	0.074	0.061	8.4	219.4
평균	0.146	0.087	0.073	10.8	262.9

표 5. 분기별 시스템 환기 성능

계절	평균 유속 (m/s)	질량 유량 (kg/s)	체적 유량 (m <sup>3</sup> /s)	시스템 효율 (%)	시간당 환기량 (m <sup>3</sup> /h)
봄	0.161	0.097	0.081	12.3	290.3
여름	0.141	0.082	0.071	11.5	254.1
가을	0.146	0.086	0.073	10.3	263.5
겨울	0.135	0.083	0.068	9.2	243.6

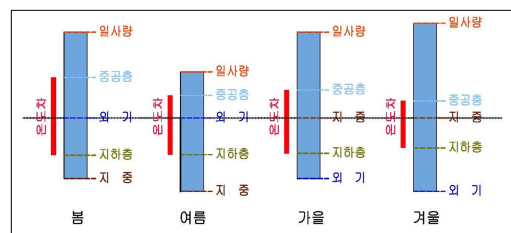


그림 7. 계절별 중공층-유입구 온도차 개념도

### 5.4 평균일 분석

그림 8, 9는 환기량이 최대인 3월과 최소

인 12월의 평균일의 시스템 성능 분포이다. 여기서 ‘평균일’은 해당 월의 모든 날을 시간대별로 평균하여 만든 가상의 날을 말한다. 시스템으로 인한 자연 환기는 일사가 있는 시간에 주로 발생하며, 3월 평균일의 총 환기량은 7,103.4 m<sup>3</sup>/day, 12월 평균일의 총 환기량은 5,266.6 m<sup>3</sup>/day인 것으로 나타났다.

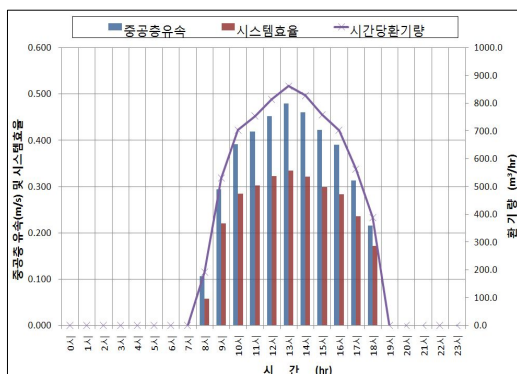


그림 8. 3월 평균일 시스템 환기 성능

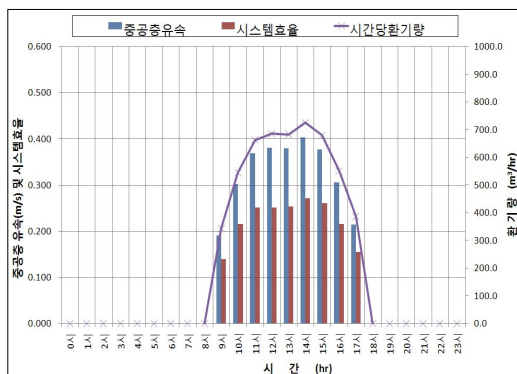


그림 9. 12월 평균일 시스템 환기 성능

## 6. 결 론

본 연구에서는 수치 시뮬레이션을 통해 태양 굴뚝 자연 환기 시스템(Solar Chimney System)의 변수에 따른 성능과 연간 환기 성능을 정량적으로 분석하였으며, 그 결과를

요약하면 다음과 같다.

- (1) 일사량이 증가하고, 중공층의 높이가 높아질수록 중공층 유속이 증가하고 질량 유량과 환기량이 증가하는 것으로 나타났다. 일사량 100(W/m<sup>2</sup>), 높이 5(m)의 증가에 따라 환기량은 각각 0.013~0.057 (m<sup>3</sup>/s), 0.033~0.066(m<sup>3</sup>/s)만큼 증가하였다.
- (2) 중공층의 두께가 증가할수록 중공층 유속은 감소하지만 환기량은 중공층 면적 증가로 인해 증가한다. 중공층의 두께가 0.2(m) 증가함에 따라 유속은 0.008~0.088(m/s)만큼 감소하는 반면 환기량은 0.032~0.060(m<sup>3</sup>/s)만큼 증가하였다.
- (3) 연간 분석 결과 태양 굴뚝 자연 환기 시스템은 국내 기후 조건에서 연중 모든 시기에 계속적으로 사용이 가능하며, 최대 환기량은 458.9(m<sup>3</sup>/hr)며 평균 환기량은 262.9(m<sup>3</sup>/hr)인 것으로 계산되었다.
- (4) 시스템의 월평균 환기량은 219.4~296.0 (m<sup>3</sup>/hr)의 범위이며 3월에 최소, 12월에 최대 환기량이 발생하였다. 월별 환기량의 차이는 25% 이내로 나타났다.
- (5) 환기량을 계절별로 살펴보면 봄>가을>여름>겨울 순이며 이는 일사량, 외기온도, 지중온도의 복합적인 영향으로 인한 것으로 판단된다.
- (6) 시스템으로 인한 자연 환기는 일사가 있는 주간 시간에 주로 발생하며, 3월 평균일의 총 환기량은 7,103.4 m<sup>3</sup>/day, 12월 평균일의 총 환기량은 5,266.6 m<sup>3</sup>/day로 계산되었다.

이상의 연구를 통해 태양굴뚝 자연 환기 시스템의 응용을 위한 수치적 방법에 의한 성능 검증이 이루어졌으며, 제안된 분석 시뮬레이션의 실용화 및 열전달계수의 실증 검증을 위해 Mock-Up 모델을 통한 실험적 연구를 수행할 예정이다.



### 참 고 문 헌

1. K.S. Ong, C.C. Chow, Performance of a solar chimney, Solar Energy, Vol. 74, pp. 1-17, 2003.
2. Trombe, F., Robert, J .F., Cabanot, M., and Sesolis, B., Concrete Walls to Collect and Hold Heat, Solar Age, Vol 2, pp. 13-19, 1977.
3. Watmuff, J.H., W. W. S. Charters, and D. Proctor, Solar and Wind induced External Coefficients for Solar Collectors, CPMPLES, No. 2, p. 56, 1977.
4. 대한건축학회, 건축환경계획, 기문당.
5. 서승직 외, 건축환경공학, 일진사, 2004.
6. Kasuda, T., and Archenbach, P.R. "Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States", ASHRAE Transactions, Vol. 71, 1965.
7. 이재혁, 복토주택의 복토 방법에 따른 열부하 패턴에 관한 연구, 인하대학교 대학원 석사학위논문, p. 18, 2006.