

## 겨울철 건물 열환경 개선을 위한 태양굴뚝 시스템의 응용

## Application of the Solar Chimney System for Improving the Thermal Environment in Winter

오주홍\* · 김의종\*\*† · 이현수\* · 서승직\*\*\*

Oh Ju-Hong\*, Kim Eui-Jong\*\*† and Suh Seung-Jik\*\*\*

(Received 24 September 2015; accepted 28 October 2015)

**Abstract :** In this study, the solar chimney, one of the passive solar systems, is proposed as a method to improve the thermal environment of northern zones in buildings. As this well-known system has rarely been used in building projects, an adequate application of the system is proposed in this paper: the solar chimney system is designed to meet the required ventilation rate and consequently to reduce the ventilation load in the northern part of a building. To investigate such a possibility, a numerical model for the system is developed, and results of numerical tests are used for energy simulations. The results were taken into account for test simulations in EnergyPlus. As a result, approximately 75% of the volumetric ventilation rate required in the north zone could be supplied with the air volume acquired through the system and the monthly mean load was reduced by 29.5%, from 1.584 kWh to 1.117 kWh. The analyses of hourly mean heating and ventilation load over the heating period indicated that the system was very effective at around 13:00. Results show that 33% reduction in the ventilation load and 17% in the heating load for the north zone could be acquired through this system.

**Key Words :** 태양굴뚝(Solar chimney), 수치해석(Numerical analysis), 에너지플러스(EnergyPlus), 건물에너지 부하(Building energy load)

## 기 호 설 명

A	: 면적 ( $m^2$ )	H	: 중공층 높이 (m)
C	: 공기 평균 비열 ( $J/kg \cdot K$ )	hc	: 전도 열전달계수( $W/m^2K$ )
D	: 중공층 두께(m)	hr	: 복사 열전달계수( $W/m^2K$ )
		hv	: 대류 열전달계수( $W/m^2K$ )
		$\dot{m}$	: 질량유량( $kg/s$ )

\*\*† 김의종(교신저자) : 인하대학교 건축공학과  
E-mail : ejkim@inha.ac.kr, Tel : 032-860-7589  
\*오주홍, 이현수 : 인하대학교 건축공학과 대학원  
\*\*\*서승직 : 인하대학교 건축공학과

\*\*† Kim Eui-Jong(corresponding author) : Department of Architectural Engineering, Inha University.  
E-mail : ejkim@inha.ac.kr, Tel : 032-860-7589  
\*Oh Ju-Hong, Lee, Hyun-Soo : Inha University.  
\*\*\*Suh Seung-Jik : Inha University.

$\dot{Q}$  : 획득 열류량(W/m<sup>2</sup>)  
 S : 일사량(W/m<sup>2</sup>)  
 T : 온도(K)  
 V : 유속(m/s)

**그리스 문자**

$\epsilon$  : 방사율  
 $\gamma$  : 평균온도근사계수  
 $\rho$  : 비중량 [kgf/m<sup>3</sup>]  
 $\sigma$  : 스테판-볼츠만상수

**하첨자**

abs : 흡수체  
 amb : 외기  
 f : 중공층  
 g : 투과체  
 grd : 지면  
 r : 실내  
 sky : 천공  
 w : 시스템의 실내측 벽면

**1. 서론**

**1.1 연구 배경 및 목적**

태양에너지를 별도의 설비 없이 건축적 방법으로 건물과 연계한 자연형 태양열 외피 시스템은 운영비가 거의 들지 않고 유지관리가 용이하지만 시스템 특성에 적합한 건물 적용기술이 부족하여 국내에서 활용이 거의 중단된 상태이다. 본 논문의 목적은 방위별 난방부하와 태양에너지 가용 위치를 고려하여 에너지 수급효과를 높이기 위해 주간 남측에서 사용 가능한 태양에너지를 북측에 공급할 수 있는 시스템을 제안하고 평가하는 것이다. 이를 통해 방

위에 따른 부하 불균형을 감소시킬 뿐 아니라 자연형 시스템을 통한 패시브 방법으로 실제 에너지 수급효과를 달성할 수 있을 것으로 예상된다. Fig. 1은 본 연구 배경의 개념도이다.

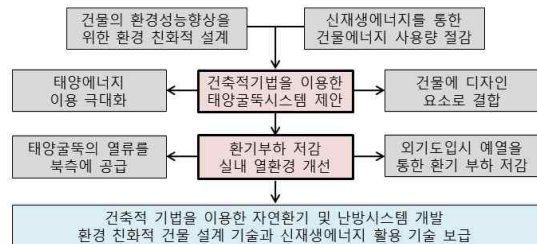


Fig. 1 Background of research

**1.2 선행연구 고찰**

태양굴뚝의 기술 수준 및 개발 현황을 파악하기 위해 연구 문헌을 고찰한 결과 환기 성능을 주제로 한 연구들은 주로 일사량, 태양굴뚝의 높이, 중공층의 두께 등 태양굴뚝 설계 인자들에 따른 환기 성능을 평가한 것으로 파악되었다. 장항인 등은<sup>1)</sup> 지하 공간의 환기를 위한 태양굴뚝 시스템의 응용 가능성을 평가하기 위해 에너지 평형방정식을 수립하고 수치 시뮬레이션을 통해 시스템의 환기 성능을 결정하는 인자들의 변화에 따른 연간 환기 성능을 비교하였다. 그 결과 일사량, 중공층 높이, 두께가 증가할수록 환기량이 증가하였고 국내 기후조건에서 연중 모든 시기에 사용 가능하다는 결과를 도출하였다. Mathur. J 등은<sup>2)</sup> 서로 다른 높이와 중공층 두께의 비에서 환기량 변화를 확인하기 위해 정상 상태의 수치

1) Jang. H. I, Suh. S. J, Application of Solar Chimney System for Natural Ventilation in Underground Space, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 30, No. 2, 2010, pp. 87-95.  
 2) Mathur. J, Bansal. N. K, Mathur. S, Jain. M, Anupma, 'Experimental investigations on solar chimney for room ventilation', Solar Energy, Vol. 80, No. 8, 2006, pp. 927-935.

시뮬레이션과 1 m × 1 m × 1 m 크기의 Mock-up 모델의 결과를 비교하였다. 환기량은 중공층 높이 대 두께의 비 뿐 아니라 유입구, 유출구의 크기 같은 다른 인자들의 영향에 따라 달라지기 때문에 최적의 비를 얻지는 못하였지만 실험을 통해 수치식의 타당성을 입증하였고 일사량과 중공층 두께의 증가에 따라 환기량이 증가한다는 결과를 얻었다.

태양굴뚝을 환기뿐만 아니라 냉난방에 이용한 연구들은 중공층에서 데워진 공기를 통해 획득할 수 있는 에너지를 평가하였다. Miyazaki 등은<sup>3)</sup> 일본 기후 조건에서 태양굴뚝을 통해 획득한 열류를 실내로 유입시켜 연간 부하를 12% 감소시킬 수 있었다. 하지만 대부분의 경우 태양굴뚝이 여름철 냉방부하 증가의 원인이 되었으므로 지역 기후에 따라 적절한 제어가 필요할 것으로 사료된다.

태양굴뚝을 활용하여 자연 환기를 하는 방법에 대해서는 이미 국·내외에서 다양한 이론 및 실험적 연구가 진행되었지만 냉난방 성능 평가 및 태양굴뚝을 응용한 시스템에 관한 연구는 많이 부족한 것으로 파악되었다. 특히 국내의 경우 환기를 목적으로 한 연구에 많이 치중되어 진행되었을 뿐 아니라 설치 사례도 부족한 실정이다.

### 1.3 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 건물 부하 저감 및 실내 열 환경 개선을 위한 태양굴뚝 시스템을 제안하고 국내 기후 조건에서 성능을 분석하였다. 또한 시스템 설계 시 활용될 수 있도록 이론적 체계 수립과 수치 해법에 따른 분석을 수행하고 활용 가능성을 판단해 보았다.

이를 위해 부하저감 및 실내 열 환경 개선이 가능한 새로운 태양굴뚝 시스템 모델은 제안하고, 시스템 해석에 적합한 열평형 방정식을 수립하였다. 수립한 열평형방정식을 역행렬법을 이용한 반복 계산을 통해 각 절점(투과체, 중공층, 흡수체, 실내측 벽)의 온도를 계산하였다. 이산화 방정식의 반복 계산을 통한 분석 프로그램은 Matlab을 이용하여 개발하였다. 이를 통해 설계 인자 변화에 따른 시스템의 성능을 분석하였고 그 결과를 선행 연구와 비교하여 프로그램의 타당성을 검증하였다.

시스템 설치효과 분석을 위해 해석 대상 건물을 선정하였고, 단위 모델의 시스템을 적용하여 EnergyPlus<sup>4)</sup>를 이용하여 겨울철 시스템 적용 전후의 환기 및 부하 저감량 측면에서 성능을 분석하였다.

## 2. 방위별 열 부하 특성 분석

Table 1 Composition of analyzed building

	항 목	두께 (m)	열전도율 (W/m·K)	밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	비열 (J/kg·K)
외 벽	Brick	0.1	0.84	1700	800
	Polystyrene	0.1094	0.034	35	1400
	Concrete Block	0.1	0.51	1400	1000
내 벽	Plaster Board	0.025	0.25	900	1000
	Insulation	0.0897	0.04	12	840
	Plaster Board	0.025	0.25	900	1000
창 호	SHGC	Light Transmittance		U-Value (W/m <sup>2</sup> ·K)	
	0.7	0.75		2.1	

국내 기후 조건에서 건물의 향에 따른 부하 불균형 문제를 파악하기 위하여 사무소 기준

3) Miyazaki, T, Akisawa, A, Kashiwagi, T, 'The effect of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate', Renewable Energy, Vol. 31, No. 7, 2006, pp. 987-1010.

4) EnergyPlus Documentation, EnergyPlus Manual, Version 8.1, U.S. Department of Energy, 2013.

층의 평균 면적에 대한 산업자원부 조사 결과<sup>5)</sup>를 토대로 창면적비 30%, 크기 35m의 정방형 업무시설로 분석 모델을 선정하였고 북측, 남측, 중립측 3개의 존으로 구성하였다. 단열수준 및 시뮬레이션 조건은 Table 1, 2<sup>6)7)</sup>와 같고 분석을 위하여 DOE에서에서 개발한 동적 에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus를 사용하였다. 겨울철(12, 1, 2월) 분석 결과는 Table 3과 같고 총 난방시간 1080시간 중 남측 존에 부하가 발생하지 않고 북측 존에만 발생하는 시간은 339시간(31%)으로 나타났다.

Table 2 Simulation condition

Item	Condition
Set Point	Heating : 21°C, RH 50% Cooling : 26°C, RH 50%
Metabolic	130 W/person
Light	12 W/m <sup>2</sup>
Equipment	10.8 W/m <sup>2</sup>
Occupant Density	0.05 person/m <sup>2</sup>
Outdoor Air Rate	29m <sup>3</sup> /person·h
Infiltration	0.2 ACH
Weather Data	Incheon, Korea (.epw)

Table 3 Heating load in winter

구 분	북측 난방부하 [kWh/m <sup>2</sup> ]	남측 난방부하 [kWh/m <sup>2</sup> ]	북측존에만 난방부하가 발생하는 시간
12월	3.78	1.31	105
1월	2.22	0.46	143
2월	2.39	0.86	91
합계	8.39	2.63	339

### 3. 태양에너지 제어 시스템 (SECOS-N)

건물 북측 Zone을 위한 태양에너지 제어 시스템 (Solar Energy Control System for North Zone; 이하 SECOS-N라 칭함)은 태양에너지 이용의 극대화를 위한 시스템 제안으로 건물 남측에 설치한 태양굴뚝 시스템을 통해 취득한 열을 북쪽에 이용하여 부하를 저감하기 위한 것이다.

#### 3.1 시스템 개요

투과체, 흡수체, 중공층 세 부분으로 구성된 SECOS-N의 시스템 개념도는 Fig. 2 와 같다. 투과체인 유리는 일사를 투과시키는 역할을 하고, 일사를 흡수하여 중공층 내부 공기의 온도를 높이는 역할을 하는 흡수체는 흡수율을 높이기 위해 외표면을 검정색 페인트로 칠한 알루미늄판으로 가정하였다. 중공층은 공기의 유동 통로이고 일사에 의해 가열된 투과체와

5) Ministry of Commerce, Industry and Energy, 1999. Final Report on Building Energy Intensity Basis Study, 1999, pp. 130-139.  
 6) ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2009, pp. 172-174  
 7) ASHRAE, 2007, ANSI/ASHRAE Standard 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2009, pp. 11-15.

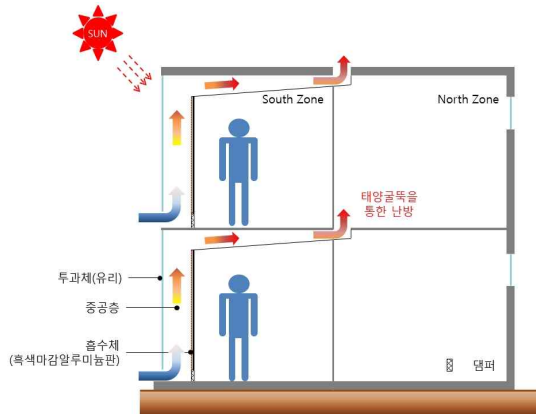


Fig. 2 Concept of system

흡수체 표면과 대류 열전달에 의해 온도가 상승한다. 중공층 내부의 공기 온도 상승으로 밀도 차에 의해 가열된 공기가 위로 이동하게 되고, 하부 유입구를 통해 외부의 공기가 중공층 내부로 유입되는 원리인 연돌효과(Stack Effect)를 이용한 시스템이다. 아래층 남측에 시스템을 설치하여 획득한 열류를 위층 북측에 공급할 수 있게 설계하였다. 구성이 매우 단순하기 때문에 기존 벽체의 간단한 변경으로 자연형 에너지를 이용하여 효과를 볼 수 있는 시스템이다.

### 3.2 이론적 분석

SECOS-N의 해석은 전도, 대류, 복사가 복합된 열전달 메커니즘으로 그림 3과 같고 이론적 분석을 단순화하기 위한 기본 가정은 아래와 같다.

- 1) 시스템 해석은 x축 방향의 1차원 정상상태로 간주한다.
- 2) 중공층 내부 공기 이외의 모든 재료의 물성값은 온도 변화와 무관하다.
- 3) 흡수체와 유리의 열용량은 무시한다.
- 4) 유입구 개구부 영향은 무시한다.
- 5) 덕트 내부의 열손실은 무시한다.

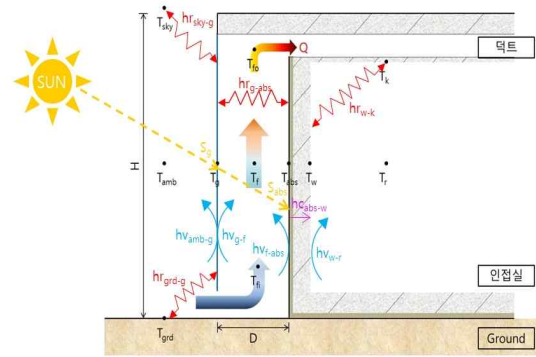


Fig. 3 Analysis of SECOS-N

#### (1) 에너지평형방정식

SECOS-N 해석을 위한 에너지평형방정식은 4개의 절점(투과체, 중공층, 흡수체, 벽체)으로 나누어 수립할 수 있고 각각 아래 식(1)~(4)와 같다.

$$S_g A_g - hv_{amb-g} A_g (T_g - T_{amb}) - hr_{sky-g} A_g (T_g - T_{sky}) - hr_{grd-g} A_g (T_g - T_{grd}) + hv_{g-f} A_g (T_f - T_g) + hr_{g-abs} A_g (T_{abs} - T_g) = 0 \quad (1)$$

$$-\dot{Q}_s - hv_{g-f} A_g (T_f - T_g) + hv_{f-abs} A_{abs} (T_{abs} - T_f) = 0 \quad (2)$$

$$S_{abs} A_{abs} - hv_{f-abs} A_{abs} (T_{abs} - T_f) - hr_{g-abs} A_{abs} (T_{abs} - T_g) + hc_{abs-w} A_{abs} (T_w - T_{abs}) = 0 \quad (3)$$

$$-hc_{abs-w} A_w (T_w - T_{abs}) + hr_{w-k} A_w (T_k - T_w) + hv_{w-r} A_w (T_r - T_w) = 0 \quad (4)$$

식 (2) 중공층의 에너지평형방정식에 사용된  $\dot{Q}_s$ 는 중공층 내부 공기의 온도가 외기나 실내 온도와 차이가 있는 경우 자연대류를 통해 전달되는 열전달을 나타내고 식(5)에 의해

계산된다.

$$\dot{Q}_s = \dot{m} C_f (T_{f0} - T_{fi}) \quad (5)$$

중공층 내부 공기의 평균온도( $T_f$ )는 식(6)과 같이 유입구와 유출구 온도의 비로 표현할 수 있고  $\gamma$ 는 '평균온도근사계수'로 0.74를 사용하였다.<sup>8)</sup> 이에 따라 식(5)는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_f = \gamma T_{f0} + (1 - \gamma) T_{fi} \quad (6)$$

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

두 개의 개구부를 가진 중공층에서 공기가 점성을 가진 비압축성이고, 평균온도와 밀도가 선형적으로 변화할 때 베르누이 방정식과 연속방정식에 의해 하부 유입구를 통해 중공층내로 유입되는 공기의 질량유량  $\dot{m}$ 은 식(8)에 의해 계산할 수 있다.<sup>9)</sup>

$$\dot{m} = V_f \cdot A_f \cdot \rho_f \quad (8)$$

여기서 자연 대류시 공기 유속은 식(9)와 같이 계산하며 분모에 사용된  $C_1(A_f/A_{fi})^2 + C_2$  항은 압력손실을 나타내는 항이고,  $C_1$ 과  $C_2$ 는 무차원의 상수로 Trombe, F. 등이 제안한 값을 사용하였다<sup>10)</sup> ( $C_1=8, C_2=2$ ). SECOS-N에서 유입구 온도( $T_{fi}$ )는 외기온도( $T_{amb}$ )와 동일하다. 또한 중공

층 내부 공기의 평균온도( $T_f$ )가 유입구 온도( $T_{fi}$ )보다 낮은 때에는 댐퍼 조절로 중공층 유입구를 차단하여 자연력에 의한 공기유동은 0이 된다.

$$V_f = \sqrt{\frac{2gH}{C_1 \left(\frac{A_f}{A_{fi}}\right)^2 + C_2} \frac{(T_f - T_{fi})}{|T_f|}} \quad (9)$$

### (2) 열전달계수의 계산

투과체와 외기간의 대류열전달계수는 복사에 의한 효과는 제외하고 순수한 대류 효과만을 계산한 Watmuff, J. H. 등이 제안한 식(10)을 사용하여 계산하였고<sup>11)</sup>, 중공층 내부의 공기와 투과체면과의 대류열전달계수는 식(11)를, 흡수체면과의 대류열전달계수는 식(12)를 사용하여 계산하였다. 이때, 대류열전달계수 산정을 위해 사용된 Nusselt Number(Nu)는 식(13)을 이용하여 계산하였고<sup>12)</sup> Prantl Number와 Rayleigh Number는 각각 식(14), (15)와 같다. 또한 벽체와 실내와의 대류열전달계수는 Griffiths와 Davis에 의해 제안된 실험식인 식(16)을 이용하여 계산하였다.<sup>13)</sup>

$$h_{v_{amb-g}} = 2.8 + 3.0 V_{amb} \quad (10)$$

$$h_{v_{g-f}} = \frac{Nu_g \cdot k_{f,g}}{H} \quad (11)$$

$$h_{v_{f-abs}} = \frac{Nu_w \cdot k_{f,w}}{H} \quad (12)$$

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

8) Ong, K. S, Chow, C. C, Performance of solar chimney, Solar Energy, Vol. 74, No. 1, 2003, pp. 1-7.

9) 서승직 외, 『건축열환경 이론 및 분석 기초』, 일진사, 2009, p. 280.

10) Trombe, F, Robert, J. F, Cabanot, M, and Sesolis, B, Concrete Walls to Collect and Hold Heat, Solar Age, Vol. 2, No. 8, 1977, pp. 13-19.

11) Watmuff, J. H, Charters, W. W. S, and Proctor, D, Solar and Wind induced External Coefficients for Solar Collectors, 2nd, Revue Internationale d'Heliotechnique, 1977.

12) Churchill, S, Chu, H, Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Horizontal Cylinder, International Journal of Heat Mass Transfer, Vol. 18, No. 9, 1975, p. 1049.

13) 대한건축학회편, 『건축환경계획』, 기문당, 2003, p. 78

$$\Pr_{f,g} = (\mu_{f,g} \cdot C_{f,g}) / k_{f,g} \quad (13)$$

$$\Pr_{f,g} = (\mu_{f,g} \cdot C_{f,g}) / k_{f,g} \quad (14)$$

$$Ra_{f,g} = Gr_{f,g} \cdot Pr_{f,g} \quad (15)$$

$$hv_{w-r} = 1.7 \cdot (T_w - T_r)^{1/4} \quad (16)$$

천공온도( $T_{sky}$ )는 식(17)을 이용하여 구했으며, 투과체면과 천공과의 복사열전달계수는 Swinbank, W. C.가 제안한 식(18)을 이용하여 구하였다.<sup>14)</sup> 투과체와 지표면간의 복사열전달계수는 식(19)에 의해 구하였고 이때 지표면온도( $T_{grd}$ )는 대기온도와 동일한 것으로 가정하였다. 투과체면과 흡수체와의 복사열전달계수, 시스템 벽체와 실 내부 벽면간의 복사열전달계수는 각각 식(20)<sup>15)</sup>, (21)에 의해 계산하였다.

$$T_{sky} = 0.0522 \cdot T_{amb}^{1.5} \quad (17)$$

$$hr_{sky-g} = 0.5 \cdot \sigma \cdot \epsilon_g \cdot (T_g^2 + T_{sky}^2)(T_g + T_{sky}) \quad (18)$$

$$hr_{grd-g} = 0.5 \cdot \sigma \cdot \epsilon_g \cdot (T_g^2 + T_{grd}^2)(T_g + T_{grd}) \quad (19)$$

$$hr_{g-abs} = \sigma \cdot \frac{1}{1/\epsilon_g + 1/\epsilon_{abs} - 1} (T_g^2 + T_{abs}^2)(T_g + T_{abs}) \quad (20)$$

$$hr_{w-k} = \sum_{k=1}^n \sigma \cdot \epsilon_{w,k} \cdot F_{w,k} \cdot (T_w^2 + T_k^2)(T_w + T_k) \quad (21)$$

### (3) 수치해석

앞서 수립한 식(1)~(4)는 식(22)과 같이  $[A][T]=[B]$  형태로 나타낼 수 있으며, 역행렬법과 반복 계산을 통해 각 절점의 온도[T]를 계산할 수 있다. 이 식은 역행렬법  $[T]=[A]^{-1}[B]$ 을 이용하여 계산할 수 있으며, 이 해가 오차 범위 안에 수렴할 때까지 반복 계산함으로써 근사값을 구할 수 있다. 해를 얻기 위한 수렴 조건은 식(23)과 같다.

$$\begin{bmatrix} (hv_{amb-g} + hr_{sky-g} + hr_{grd-g}) & -hv_{g-f} & -hr_{g-abs} & \\ +hv_{g-f} + hr_{g-abs} & (hv_{g-f} + hv_{f-abs} + \frac{\dot{m}C_f}{\gamma WH}) & -hv_{f-abs} & \\ -hv_{g-f} & -hv_{f-abs} & (hv_{f-abs} + hr_{g-abs} + hc_{abs-w}) & -hc_{abs-w} \\ -hr_{g-abs} & -hr_{g-abs} & -hc_{abs-w} & (hc_{abs-w} + hr_{w-k} + hv_{w-r}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} T_g \\ T_f \\ T_{abs} \\ T_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_g + hv_{amb-g} T_{amb} + hr_{sky-g} T_{sky} + hr_{grd-g} T_{grd} \\ \frac{\dot{m}C_f}{\gamma WH} T_{fi} \\ S_{abs} \\ hr_{w-k} T_k + hv_{w-r} T_r \end{bmatrix} \quad (22)$$

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

### 3.3 수치해석 분석 검증

Fig. 4는 SECOS-N을 해석하기 위해 작성한 수치해석 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 기존에 수행된 연구에서 작성한 프로그램의 결과 값과 본 논문에서 작성한 계산 값을 비교한 결과이다. 선행 연구<sup>16)</sup>는 태양굴뚝의 성능을 예측하기 위한 수치 시뮬레이션 모델 개발에 관한 연구이며 해당 연구는 실험을 통해 타당성을 검증하였다. 본 연구에서는 선행 연구와 동일한 높이 1.875m, 폭 0.45m의 태양 굴뚝 모델에서 중공층 간격을 0.1, 0.2, 0.3m로 조절하여 각각의 효율을 비교하였다.

14) Swinbank, W. C, Long-wave radiation from clear skies, QJR Meteorological Society, Vol. 89, No. 381, 1963, pp. 339-348.

15) 서승직, 『대학과정 건축환경공학』, 일진사, 2004, p. 40.

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

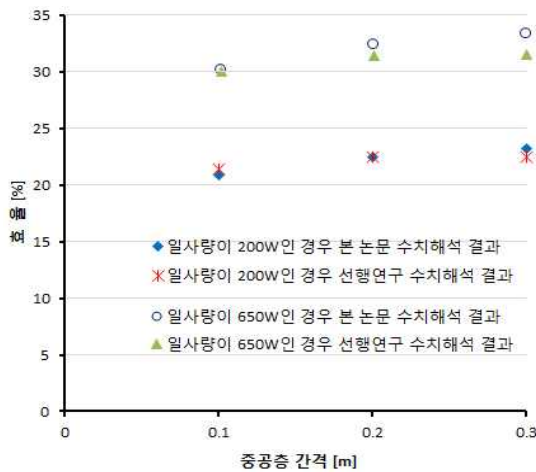


Fig. 4 Comparison of Simulation results

선행연구에서 사용한 입력 값과 최대한 유사한 조건을 본 논문에서 작성한 프로그램에 입력하여 일사량이 200W/m<sup>2</sup> 650W/m<sup>2</sup>일 때 중공층 너비에 따른 효율을 비교한 결과, 평균 오차율은 각각 1.87%, 2.99%로 나타났다. 오차의 원인으로서는 표기되지 않은 기타 입력 값 (Rayleigh number, Prantl number 등) 및 열 전달 계수 산정 식의 차이로 사료된다.

#### 4. 설치효과 분석

건물에 SECOS-N 설치에 따른 효과를 분석하기 위해 앞서 설정한 해석모델의 남측면에 SECOS-N을 설치하고, 수치 해석으로 계산된 발생 열류를 북측에 대입했을 때 실내 열환경 변화를 EnergyPlus를 이용하여 분석하였다.

##### 4.1 분석 시뮬레이션 입력 값

본 연구에서 제안한 SECOS-N은 겨울철 차가운 신선 외기를 직접 유입시켜 가열하기 때문에 시스템 배기를 북측면 환기만을 위해

이용할 경우 북측 존 부하 저감에 큰 효과가 있을 것으로 기대된다. 즉 시스템 크기는 북측 존의 필요 환기량에 대응하여 결정하는 것이 바람직하다. 이와 같은 선택은 다음의 두 가지 이유로 의미를 가진다. 첫째, SECOS-N의 출구 온도는 주간 경우 언제나 외기 온도보다 같거나 높다. 그렇기 때문에 환기를 위해 외기와 직접 공기를 교환하는 방식보다 언제나 효율적이다. 둘째, SECOS-N을 요구 환기량을 넘어서게 설계할 경우 출구 온도가 북측 존 설정 온도보다 낮을 경우(즉 유입 외기 온도가 매우 낮거나 태양열 시스템에 의해 온도 상승이 기대에 미치지 못할 때) 오히려 북측 존의 난방 부하를 증가시킬 우려가 있다.

Table 2의 시뮬레이션 조건에 따라 필요 환기량 29m<sup>3</sup>/인·h, 재실 인원 0.05인/m<sup>2</sup>으로 설정하여 인천지역의 기상데이터를 입력하여 08:00~20:00 동안 분석한 결과, 바닥 면적이 408m<sup>2</sup>인 건물 북측 존의 요구 환기량은 591.6m<sup>3</sup>/h로 계산된다. 에너지플러스에서 제공하는 인천지역 기상데이터를 사용하여 수치해석 결과 시스템 크기가 5×0.5×3m (W×D×H)일 때 발생하는 체적유량은 평균 580m<sup>3</sup>/h로 북측에서 요구하는 환기량을 예열하여 공급할 수 있을 것으로 사료된다.

##### 4.2 시스템 월평균 성능 분석

Table 4, Fig. 5는 시스템 설치 전·후의 북측존의 월간 부하 및 환기량을 나타낸 것이다. SECOS-N 설치를 통해 외기를 예열하여 실내로 유입한 열류는 1월에 0.1 m<sup>3</sup>/s로 최소, 2월에 0.142 m<sup>3</sup>/s로 최대인 것으로 나타났고 평균 0.124 m<sup>3</sup>/s로 실에서 필요로 하는 환기량의 약 75.6%를 공급할 수 있었다. 시스템 설치로 북측존의 월평균 부하는 1.576 kWh에서



1.107 kWh로 29.8% 감소하였다.

Table 4 Variation of load and ventilation in north zone

	설치 전 난방부하 [ kWh ]	설치 후 난방부하 [ kWh ]	부하 감소량 [ kWh ]	시스템 환기량 [ m <sup>3</sup> /s ]
12월	1.309	0.972	0.338	0.100
1월	2.072	1.528	0.543	0.129
2월	1.348	0.822	0.526	0.142
합계	4.729	3.322	1.407	
평균	1.576	1.107	0.469	0.124

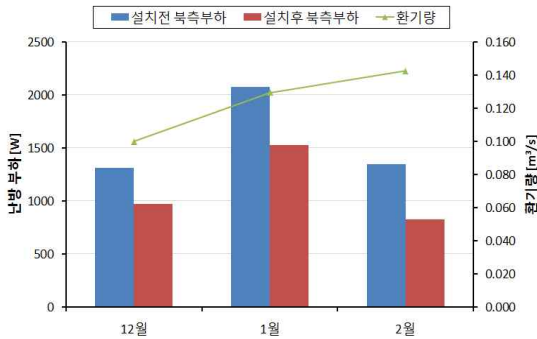


Fig. 5 Comparison of installation using SECOS-N 1

### 4.3 평균일 분석

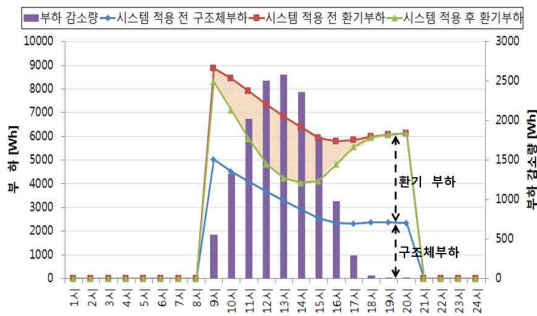


Fig. 6 Comparison of installation using SECOS-N 2

겨울철 난방 기간의 모든 날을 시간대별로 평균하여 평균일이라 정의하였고 시스템 적용 전과 후의 부하 변화를 평균일로 분석하였다. 분석 결과, 부하는 일사량이 가장 큰 13시 전

후로 가장 크게 감소하는 것으로 나타났고 일간 환기 부하의 약 33 %, 북측 존 전체 부하의 약 17 %를 시스템을 통해 획득할 수 있는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 건물의 북측과 남측에 면한 실사이의 불균등한 열 환경을 완화하고 태양에너지 수급효과를 이룰 수 있는 방법으로 SECOS-N을 제안하였다. 그리고 시스템의 성능 평가를 위해 열평형방정식을 수립하였으며 수치해석 프로그램을 작성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 해석 모델을 선정하고 EnergyPlus를 활용하여 건물에 적용 시 효과를 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 건물에 시스템 적용 시 성능을 평가하기 위해 해석 대상 모델을 선정하고, 실크기와 시뮬레이션 조건에 적합한 요구 환기량 대응 시스템의 선정 및 분석하였다.
- (2) 시스템 크기를 5×0.5×3 m(W×D×H)로 결정하였고 분석 결과, 겨울철 발생 열류량은 월평균 0.465~0.724 kW의 범위로 겨울철에 활용 가능할 것으로 판단된다.
- (3) 해석 건물의 시스템 설치 전·후의 효과 분석 결과 시스템을 통해 획득한 일평균 환기량은 0~0.306 m<sup>3</sup>/s의 범위로 계산되었으며 평균 0.123 m<sup>3</sup>/s로 북측존에서 필요로 하는 환기량의 약 75 %를 시스템을 통해 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.
- (4) 시스템 설치로 북측존의 월평균 부하는 1.584 kWh 에서 1.117 kWh로 29.5% 감소하였다.
- (5) 해석 모델 건물에서 시스템 설치 전·후의 효과를 평균일로 분석한 결과, 13시 전후로 가장 효과가 컸고, 일평균 환기 부하의

33 %, 북측존 전체 부하의 17 %를 시스템을 통해 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

이상의 도출된 연구 결과를 종합적으로 판단해보면, SECOS-N은 북측면 환기 부하를 줄일 수 있는 유용한 시스템으로 판단된다. 하지만 1차원 정상상태로 해석한 점, 덕트의 열손실을 무시한 점, 열전달계수의 검증이 없었던 점에서 한계를 갖는 것으로 사료된다. 제안된 시스템의 여름철 및 중간기 성능에 대한 추가적인 연구 및 실험을 통한 열전달계수의 검증이 필요하다고 판단되며 또한 상용화를 위해 비용, 성능의 측면에서 기존 전열 교환기와 차이에 대한 실증적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## Reference

1. Jang. H. I, Suh. S. J, Application of Solar Chimney System for Natural Ventilation in Underground Space, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 30, No. 2, 2010, pp. 87-95.
2. Mathur. J, Bansal. N. K, Mathur. S, Jain. M, Anupma, 'Experimental investigations on solar chimney for room ventilation', Solar Energy, Vol. 80, No. 8, 2006, pp. 927-935.
3. Miyazaki. T, Akisawa. A, Kashiwagi. T, 'The effect of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate', Renewable Energy, Vol. 31, No. 7, 2006, pp. 987-1010.
4. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Final Report on Building Energy Intensity Basis Study, 1999, pp. 130-139.
5. ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2009, pp. 172-174.
6. ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2007, pp. 11-15.
7. Ong. K. S, Chow. C. C, Performance of solar chimney, Solar Energy, Vol. 74, No. 1, 2003, pp. 1-7.
8. Suh. S. J, Thermal Environment in Building based on Theory and Analysis, Iljinsa, 2009, p. 280.
9. Trombe. F, Robert. J. F, Cabanot. M, and Sesolis. B, Concrete Walls to Collect and Hold Heat, Solar Age, Vol. 2, No. 8, 1977, pp. 13-19.
10. Watmuff. J. H, Charters. W. W. S, and Proctor. D, Solar and Wind induced External Coefficients for Solar Collectors, 2nd, Revue Internationale d'Heliotechnique, 1977.
11. Churchill. S, Chu. H, Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Horizontal Cylinder, International Journal of Heat Mass Transfer, Vol. 18, No. 9, 1975, p. 1049.
12. Architectural Institute of Korea, Construction environmental planning, Kimoondang, 2003, p. 78
13. Swinbank. W. C, Long-wave radiation from clear skies, QJR Meteorological Society, Vol. 89, No. 381, 1963, pp. 339-348.
14. Suh. S. J, Environmental Engineering in Architecture, Iljinsa, 2004, p. 40.
15. EnergyPlus Documentation, EnergyPlus Manual, Version 8.1, U.S. Department of Energy, 2013.