

지열을 이용한 공조외기부하저감 시스템에 관한 연구

— 공기식 집열기와의 병용에 의한 공조외기부하저감 효과 —

손 월 득[†], 이 성^{*}

일본三重대학교 공동벤처연구기관, *동의대학교 빌딩시스템공학과

Study on Fresh Air Load Reduction System by Using Geothermal Energy

— Reducing Effect of a Fresh Air Load by Combining with Air-heated Solar Collector —

Won-Tug Son[†], Sung Lee^{*}

Satellite Venture Business Laboratory, Mie University, Tsu 514-0012, Japan

Department of Building System Engineering, Dong-Eui University, Pusan 614-714, Korea

(Received July 30, 2004; revision received October 27, 2004)

ABSTRACT: This paper presents thermal behaviors and performances of a fresh air load reduction system by using earth tube system combined with air-heated solar collector. The earth tube system reduces a fresh air load by heat exchange with soil throughout the year. In the previous experimental research, it was clarified that the earth tube system was very useful as a fresh air load reduction system. However, since outlet temperature of the fresh air which was heated by earth tube system was below 15°C in winter, it is not suitable to introduce the fresh air into the place of residence directly. Therefore, a simulation model using the simple heat diffusion equation was used to examine a rising effect of outlet air temperature in winter by combining with air-heated solar collector. An improvement of annual performance by control of operation is also quantitatively examined. In conclusion, it is confirmed that its performance is improved by control of operation throughout the year and outlet air temperature rose by combining with air-heated solar collector.

Key words: Fresh air load reduction system(외기부하저감 시스템), Geothermal energy(지열), Air-heated solar collector(공기식 집열기)

기 호 설 명

A : 집열기 면적 [m^2]
 c : 비열 [$J/kg \cdot K$]
 D : 피트의 높이 [m]

F_R : 집열기 열제거 인자
 I_T : 집열면 일사량 [W/m^2]
 m : 집열매체의 질량유량 [kg/h]
 Q_U : 열류 [W/m^2]
 t : 시간 [s]
 U_L : 집열판에서의 열손실계수 [$W/m^2 \cdot K$]
 V : 공기속도 [m/s]
 x, y : 길이, 폭 [m]

[†] Corresponding author

Tel.: +81-59-231-9446; fax: +81-59-231-9452

E-mail address: sonwt@bbzone.net

그리스 문자

- α : 열전달계수 [$W/m^2 \cdot K$]
 β : 집열판의 태양열 흡수율 [-]
 η : 집열기 효율 [-]
 θ : 온도 [$^{\circ}C$]
 θ_{sol} : 상당외기온 [$^{\circ}C$]
 λ : 열전도율 [$W/m \cdot K$]
 ρ : 밀도 [kg/m^3]
 τ : 집열기 태양열 투과율 [-]

하첨자

- a : 공기
 i, o : 집열기 입구, 출구
 s, w : 토양, 지하 이중 슬래브 콘크리트

1. 서 론

외기 부하저감을 위해 자연에너지를 이용하는 것은 에너지 절약에 공헌한다고 말할 수 있다. 외기 부하를 저감하기 위해 외기를 가열 및 냉각하는 자연에너지원으로서, 연중 외기와 온도차를 얻을 수 있는 하천수 및 해수와 같은 수열원과 태양열원 등이 알려져 있다. 이러한 자연에너지원들 중 무한한 열용량을 갖고 있으며, 축열성이 높고 장소에 상관없이 비교적 용이하게 이용할 수 있는 것은 토양이다.

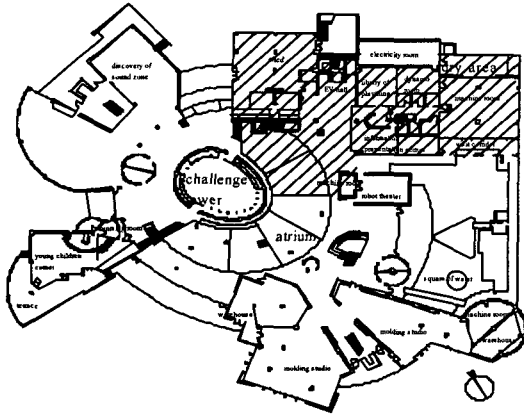
토양축열의 일반적인 수법으로서는 토양축열 히트펌프, 쿨튜브 및 온실의 축열 덕트 등이 있다. 쿨튜브는 지중 매설관에 공기를 도입해서, 토양과 열교환에 의해 도입공기의 냉각 및 가열 효과를 기대하는 시스템이다. 이 시스템에 대해서는 지금까지 실측, 해석모델의 개발 및 도입외기의 냉각 및 가열효과 등의 검토가 많이 이루어져 있다.

국내에서는, 이승복 외의 연구⁽¹⁾에서 축열냉각, 쿨 튜브와 할로우 코어를 병행하는 방식에 대해 연간 냉방에너지 소비량과 냉방에너지 비용을 비교 분석함으로써 구조체의 축열성능을 이용한 효과적인 냉방에너지 저감 방안을 제안하였다. 박효순의 연구⁽²⁾에서는 쿨튜브를 이용한 자연 냉방 시스템의 열 및 습기전달에 대해 수치계산 모델을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

국외에서는, 石原 등⁽³⁾에 의한 쿨튜브의 출구 온도, 제거열량 및 지중온도에 관한 수치해석을 행하였다. 木村 등⁽⁴⁾은 쿨튜브를 설치한 모델 주택을 이용하여 실험 및 시뮬레이션을 이용해 실내 온습도에 관해서 검토하였다. 이러한 연구에서는 토양 내에 외기 도입용 관을 매설하여, 도입외기를 냉각 및 가열하는 시스템을 대상으로 하고 있다. 이러한 방식은 건물조건 및 주거인원수에 따라 매설 관의 단면적을 변화시켜 관내 풍속을 변화시킬 수가 있다. 또한 시스템의 성능을 향상시키기 위해 관의 길이나 매설깊이를 조절할 수 있으나, 초기 설치비가 많이 들며, 동기의 출구온도가 실온과 비교해 약 $10 \sim 15^{\circ}C$ 정도 낮기 때문에 공조기를 통하지 않고 실내에 직접 도입하기에는 적합하지 않다.

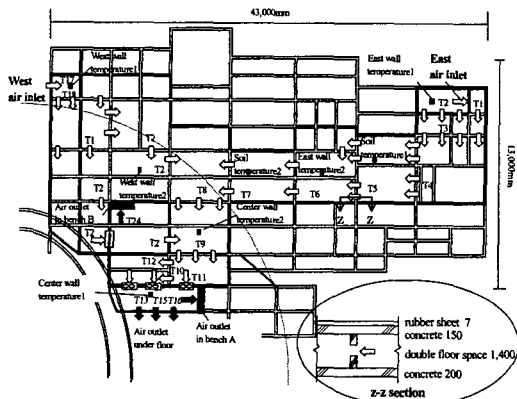
한편 공기식 집열기에 대해서는 지금까지 해석 모델의 개발, 집열효율의 향상 및 실용화 등의 검토가 많이 이루어져 있다. 국내의 경우, 천원기 외의 연구⁽⁵⁾에서는 공기식 집열시스템을 이용하여 실내 난방 연구에서 f-chart method 등을 이용하여 공기식 시스템을 적용한 경우의 난방효과에 대한 성능분석을 수행하였다. 김보철 외의 연구⁽⁶⁾에서는 태양열을 이용한 냉난방 공조시스템 중 평판형 집열기의 동계 상부 열손실 해석에서 집열성능을 파악하기 위한 실험을 통하여 집열 표면에 선택흡수막을 사용함으로써 복사 열손실을 크게 줄여 집열성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 박준언 외의 연구⁽⁷⁾에서는 난방부하 증가에 대비 가능하며, 외기부하를 감소시킬 수 있는 무창기공형 공기식 집열시스템의 TRNSYS를 위한 부프로그램 모델을 개발하였다.

위에서 설명한 것처럼 외기부하 저감 및 냉난방을 위해 지열을 이용한 시스템과 태양열을 이용한 시스템에 관해서 각각의 시스템의 냉난방 및 외기부하 감소에 대한 유효성은 실험 및 시뮬레이션을 통해 확인되었으나 지열과 태양열을 병용한 시스템에 대한 연구는 거의 찾아볼 수 없다. 지금까지의 본 연구⁽⁸⁾에서는 지열 이용한 공조 외기부하 저감시스템(이하 어스튜브시스템)을 대상으로, 실제 건물에 도입되어진 본 시스템의 6년에 걸친 온도의 실측 결과로부터, 그 열 성능 및 유효성을 명확히 하였으며, 또한 건물 지하 피트 출입구공기 습도의 실측 결과로부터 하기의 우천시와 같이 외기의 상대습도가 높은 단기간을



* Hatched area represents underground pit used for earth tube system

Fig. 1 Floor plan of the building applied earth tube system.



*A number in section is a thickness of material.(unit: mm)

Fig. 2 Diagram of the under floor.

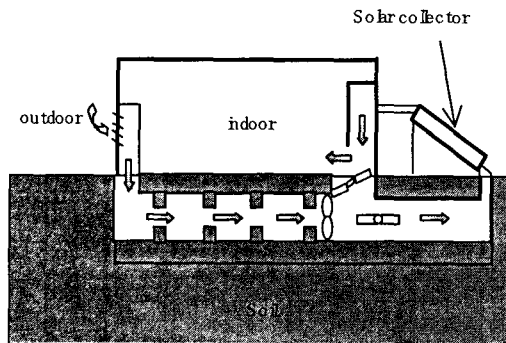


Fig. 3 Diagram of earth tube system combined with air-heated solar collector.

제외하면 건물 지하 피트 내의 표면 결로의 발생 가능성은 거의 없다는 것을 확인하였다.

본 논문에서는 지열을 이용한 어스튜브 시스템과 공기식 집열기를 병용하여 냉각 및 가열한 외기를 실내에 직접 도입하는 시스템을 대상으로 외기부하 저감효과, 운전제어에 따른 시스템의 성능 변화 및 동기의 출구온도 상승효과에 관하여 수치시물레이션을 통해 정량적으로 검토하고자 한다.

2. 검토대상 건물 및 시스템의 개요

검토대상 건물로서 실제 어스튜브 시스템이 도입되어 있는 일본 아이치현 아동복지센터를 선정하였다. Fig. 1에 건물의 1층 평면도를, Fig. 2에 어스튜브 시스템으로 이용되는 지하피트 부분의 개략도를 나타내었다. 외기는 관리동 동측과 서측의 흡입구로부터 흡인되어 토양과 열교환에 의해 가열 또는 냉각되어진다. 외기도입용 팬은 휴관일을 제외한 8 : 00 ~ 17 : 00까지 운전되며, 어스튜브 시스템은 하기에는 외기온이 25℃ 이상에서, 동기에는 15℃ 이하에서 팬이 작동되도록 중앙감시 시스템에 의해 운전제어된다.

한편 실제 도입되어진 어스튜브 시스템과 병용할 공기식 집열기의 개요를 Fig. 3에 나타내었다. 하기에는 어스튜브 시스템만을 사용하여 외기를 냉각하여 실내에 직접 취출되도록 하며, 동기에는 공기식 집열기와의 병용하여 외기를 가열한 후 실내에 직접 취출되도록 하였다. 동기의 외기는 송풍용 팬에 의해 피트 내에 도입되고, 일사가 있는 날은 집열기에 의해 가열되어 실내에 취출되며, 일사가 없는 날은 집열기를 통하지 않고 직접 실내로 보내진다.

3. 수치모델의 개요

계산에 사용된 기상데이터는 주택용 동적 열부하 계산 프로그램인 SMASH의 일본 나고야 표준기상데이터를 사용하였다. SMASH의 표준기상데이터는 온도, 습도, 법선면 직달일사량, 수평면 확산일사량, 야간 복사량의 기본적인 기상데이터와 태양고도 및 방위각의 데이터까지 포함되어 있기 때문에 태양열 관련 시물레이션에는 용이하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 외기 도입량은 검토 대상건물의 설계취지 및 실내 경부하 처리

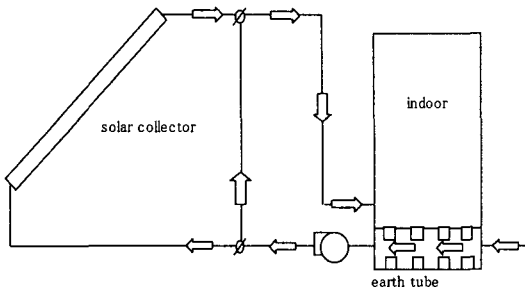


Fig. 4 Scheme of Numerical model.

Table 1 Thermal property used for simulation

	Volumetric specific heat [kJ/m ³ ·K]	Thermal conductivity [W/m·K]
Concrete	1887.9	1.40
Soil	2800.5 (saturation) 1753.9 (12.5 vol.%)	2.9 (saturation) 2.17 (12.5 vol.%)
Air	1.21	-

를 위해 기준량보다 많은 2.75 m³/s로 설정하였다. 계산 대상을 Fig. 4에 나타내었다. 계산에 사용된 각종 재료의 열 물성치를 Table 1에 나타내었으며, 계산조건을 Table 2에 나타내었다.

3.1 어스튜브 모델의 개요

어스튜브 시스템은 쿨튜브 시스템과는 달리 지

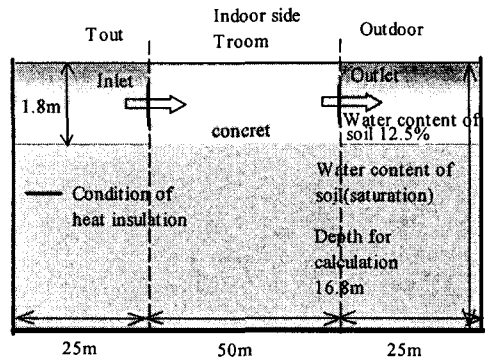


Fig. 5 Scheme of underground pit space and surrounding ground area.

하피트의 공기흐름은 상당히 복잡하며 기본적으로는 난류이다. 이 복잡한 지하 피트를 상세히 모델화하여 수치계산을 한다는 것은 설계의 관점에서부터 비현실적라고 말할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Fig.5에 나타낸 바와 같이 간단한 2차원계로 모델화 하였다. 어스튜브의 수치모델을 이용한 계산을 위해 아래와 같은 가정을 하였다.

- (1) 공기유량은 일정하고, 흐름은 층류로 가정하였다.
 - (2) 토양과 지하피트 벽면의 열전달은 단순 열전도이고 수분에 의한 열전달은 고려하지 않는다.
 - (3) 토양 하부는 연평균 외기온으로 일정하다.
- 어스튜브의 수치모델을 이용한 계산에 사용된 기본식을 이하에 나타내었다.

Table 2 Condition of simulation

Geometric earth tube	Length: 50 m, Effective area of heat transfer surface: 700 m ²
Cross-sectional area of earth tube	7 m (Width) × 1.4 m (Height)
Air conditioning period	June ~ September in summer, December ~ March in winter
Air conditioning schedule	8 : 00 ~ 17 : 00 except Monday
Indoor set temperature	Summer: 26°C uniformity, Winter: non-air conditioning: 15°C, air conditioning period: 22°C, Inter-phase: mean value between summer and winter season
Control of operation	On: outdoor air temperature is more than 25°C in summer, outdoor air temperature is lower than 15°C in winter
Air velocity in earth tube	0.28 m/s (air volume: 9878.4 CMH)
Disturbance	Outdoor air temperature, solar radiation
Temperature deep in the ground	14.3°C
Overall heat transfer coefficient	Underground pit: $\alpha = 6.2 + 4.2 \times V$ [W/(m ² K)], Indoor: 9.3 [W/(m ² K)]
Finite-difference scheme	Convection: upwind method, diffusion: central time term: forward

- 토양 내의 열평형 방정식

$$c_s \rho_s \frac{\partial \theta_s}{\partial t} = \lambda_s \left(\frac{\partial^2 \theta_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

- 콘크리트 벽체 내의 열평형 방정식

$$c_w \rho_w \frac{\partial \theta_w}{\partial t} = \lambda_w \left(\frac{\partial^2 \theta_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_w}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

- 지하피트 내 공기의 열평형 방정식

$$c_a \rho_a \frac{\partial \theta_a}{\partial t} = -c_a \rho_a V \frac{\partial \theta_a}{\partial x} + \frac{\alpha}{D} (\theta_w - \theta_a) \quad (3)$$

- 경계조건

$$q = \alpha (\theta_{sol} - \theta_s) = -\lambda \frac{\partial \theta_s}{\partial y} \quad (4)$$

$$q = \alpha (\theta_a - \theta_w) = -\lambda \frac{\partial \theta_w}{\partial y} \quad (5)$$

3.2 공기식 집열기 모델의 개요

집열기의 면적은 동기 쾌청일의 최대 일사량을 기준으로 집열기 출구온도가 실내 설정온도인 22℃가 되도록 계산한 결과 70m²로 설정하였다. 집열기는 정남 방향의 경사각 30°로 설정하였다. 집열효율 및 집열기 출구온도 계산에 사용된 식(9)을 아래에 나타내었다.

- 공기식 집열기 효율식

$$\eta = F_R (\tau \beta) - F_R U_L \frac{\theta_i - \theta_o}{I_T} \quad (6)$$

- 공기식 집열기 집열량

$$\eta \cdot I_T \cdot A = F_R (\tau \beta) \cdot A - F_R U_L \cdot A (\theta_i - \theta_o) \quad (7)$$

- 공기식 집열기 출구온도

$$\theta_o = \frac{Q_U}{m \cdot C_a} + \theta_i \quad (8)$$

4. 계산결과

4.1 하기의 어스튜브 시스템의 성능

Fig. 6에 2차원 단순 열전도 수치 모델을 사용하여 계산한 어스튜브 시스템의 출구온도의 하기 대표일의 일변화를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 하기 대표일의 운전시간 중의 외기온이 25.5~37.5℃까지 변화되는 것에 대해 어스튜브의 출구온도는 24.6~30.4℃까지 변화하였으며, 외기온과 출구온도의 최고온도차는 7.5℃로 나타났다. Fig. 7에 하기 운전시간 내(8~17시)의 외기온과

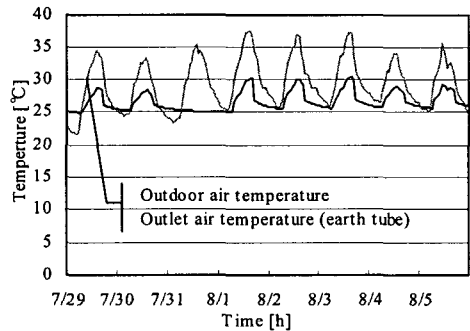


Fig. 6 Comparison of outlet air temperature and outdoor air temperature in summer.

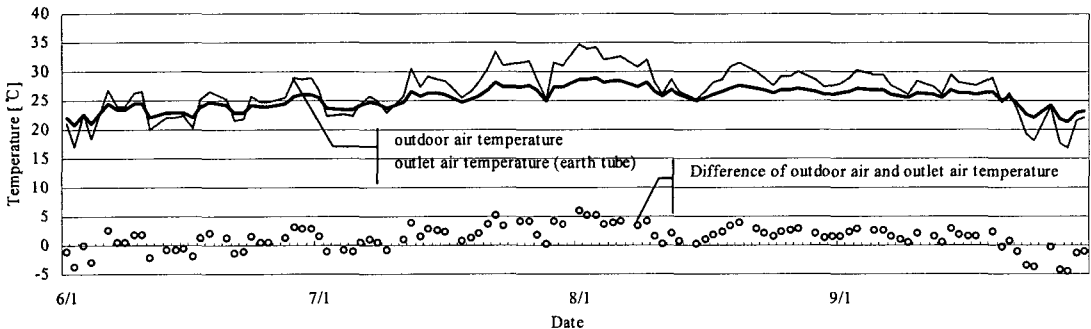


Fig. 7 Variations of daily mean outdoor/outlet air temperature and its difference in summer.

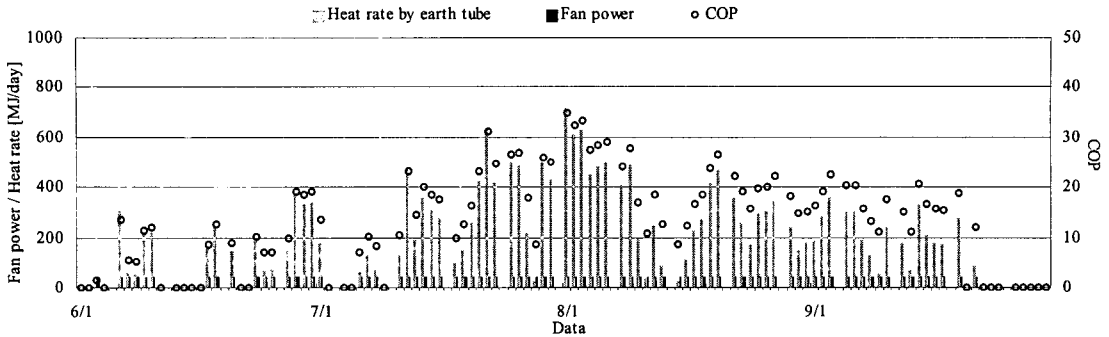


Fig. 8 Variations of daily mean cooling heat rate and Coefficient of performance in summer.

Table 3 Monthly performance of earth tube

	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	Summer
Maximum outdoor temperature [°C]	31.10	36.20	37.5	33.70	37.50
Minimum outdoor temperature [°C]	23.91	27.60	29.71	25.57	26.70
Mean outlet air temperature [°C]	23.58	25.71	27.02	25.18	25.37
Maximum fresh air load [MJ/h]	61.16	122.32	137.91	92.34	137.91
Mean fresh air load [MJ/h]	24.90	44.79	52.50	36.01	39.55
Monthly fresh air load [GJ]	2.14	7.48	12.44	4.86	26.93
Monthly cooling heat rate [GJ]	2.89	6.30	8.85	3.89	21.93
Monthly fresh air load reduction [GJ]	2.05	5.83	8.75	3.75	20.39
Monthly indoor load reduction [GJ]	0.84	0.46	0.10	0.14	1.54
Input of supply fan [GJ]	0.84	0.72	1.02	0.58	2.70
COP	7.77	8.73	8.65	6.67	7.95

어스튜브의 일평균 출구온도의 변화를 나타내었다. 하기의 운전시간 내 평균 외기온과 어스튜브 출구온도는 각각 26.7°C와 25.4°C, 기간 평균 출입구 온도차는 약 1.3°C 정도로 나타났다.

어스튜브 시스템에 의한 외기의 냉각열량 및 실내설정온도 26°C를 기준으로 한 외기 냉방부하 및 시스템의 성능계수(COP=취득열량/전력소비량)를 통하여 시스템의 성능을 평가하였다. 하기의 일적산 냉각열량, 송풍용 팬의 소비전력 및 시스템의 성능계수를 Fig. 8에 나타내었고, Table 3에는 하기의 월별 시스템의 성능을 나타내었다. 단, 여기서 외기부하 및 부하저감량은 현열만을 고려하였다. 계산결과, 하기의 기간적산 외기 냉방부하 26.93 GJ에 대해서 어스튜브 시스템을 통한 외기 냉방부하 저감량은 20.39 GJ이었다. 이 결과, Fig. 9에 나타난 바와 같이 어스튜브 시스템을 이용함으로써 하기의 외기 냉방부하를 약 76% 저감시킬 수 있었다. 또한 Table 3에 나타난 바와 같이 어스튜브를 통한 외기냉방에 의해 실의 경

부하까지도 경감시킬 수 있음이 확인되었다. 이 경우 어스튜브 시스템의 하기 평균 성능계수는 7.95로 나타났다.

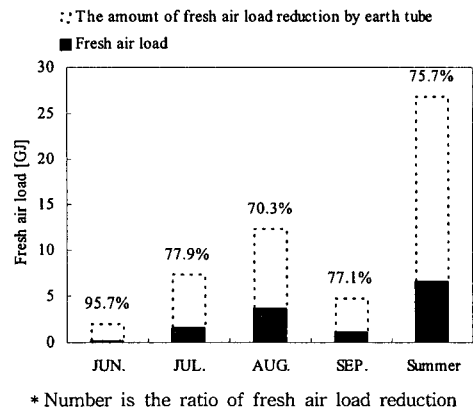


Fig. 9 Variations of a fresh air sensible heat load and its reducing amount in summer.

Table 4 Operating controls of earth tube system and COP in summer

Operating control	Monthly electric power	COP
On: always (8 : 00 ~ 17 : 00)	4.54 [GJ/season]	4.81
On: outdoor temp. $\geq 25^{\circ}\text{C}$	2.70 [GJ/season]	7.95

운전제어 여부에 따른 어스튜브 시스템의 성능을 비교하기 위해서 Table 4와 같이 비제어 운전할 경우, 외기온에 의해 운전제어를 한 경우와 비교해서 시스템의 성능이 약 1/2배 정도 감소되었다.

이상의 결과로부터 실제 건물에 도입되어진 어스튜브 시스템에 의해 외기부하 감소 및 실의 경부하가 감소되는 것을 알 수 있었다. 한편, 비운전 제어시 어스튜브 시스템이 외기도입량에 대해 충분한 전열면적을 보유하고 있지 않는 경우, 운전제어 시와 비교해서 외기냉방 효과가 감소되고, 외기의 가열(외기온도 \geq 토양온도)시에도 송풍용 팬의 작동으로 인해 어스튜브 시스템의 성적계수가 일반 냉동기정도로 감소하기 때문에 시스템의 운전제어의 필요성이 요구되어진다.

4.2 동기의 공기식 집열기와의 병용에 의한 시스템의 성능

Fig. 10에 어스튜브 시스템의 출구온도의 동기 대표일의 일변화를 나타내었다. Fig. 10에 나타난 바와 같이 어스튜브 출구 온도와 외기온의 최고 온도차는 13.6°C 로 나타났다.

Table 5에는 기간 내의 월별 최고 및 최저 기온, 월평균 기온, 월평균 경사면 일적산 일사량, 월적

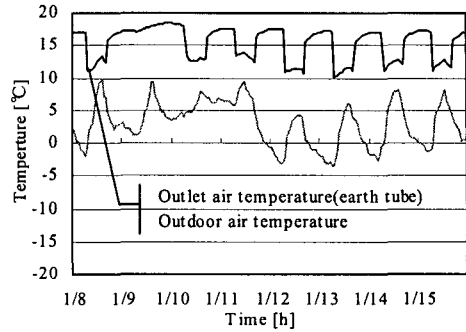


Fig. 10 Comparison of outlet air and outdoor air temperature in winter.

산 집열량, 월평균 집열효율 및 운전시간을 나타내었다. Table 5에 나타난 바와 같이 공기식 집열기의 경우 기간적산 경사면 일사량 1601.8 MJ/m^2 에 대해서, 671.8 MJ/m^2 의 집열량이 취득됨으로써 평균 집열효율은 약 33.4% 정도로 나타났다.

Fig. 11에 동기의 운전시간 내(8~17시)의 일평균 외기온도와 집열기의 출입구 온도를 나타내었다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 운전시간 내의 일평균 외기온도, 집열기의 일평균 입구온도 및 출구온도는 각각 5.0°C , 13.1°C , 17.7°C 로 어스튜브 시스템의 단독운전시와 비교해 출구온도를 기간 평균 4.6°C 상승시키는 효과를 가져왔다. 어스튜브 시스템과 공기식 집열기의 병용으로 취득된 동기의 가열열량과 송풍용 팬의 소비전력으로부터 계산한 시스템 전체의 성능계수는 Fig. 12에 나타난 바와 같이 기간 평균 27.3으로 어스튜브 단독운전시와 비교해 약 1.7배 정도 증가하였다.

Fig. 13에는 동기의 각 시스템별 외기부하 저감량을 산출하였다. 동기의 기간 적산 외기부하 181.2 GJ 에 대해서 어스튜브 시스템에 의해 약 40%, 공기식 집열기에 의해 약 27% 저감되어졌다. 따

Table 5 Weather condition

	JAN.	FEB.	MAR.	DEC.	Winter
Maximum outdoor temperature [$^{\circ}\text{C}$]	10.6	21.7	19.8	15.9	21.7
Minimum outdoor temperature [$^{\circ}\text{C}$]	-5.8	-4.1	-3.8	-4.8	-5.8
Monthly mean outdoor temperature [$^{\circ}\text{C}$]	2.4	4.6	7.5	5.6	5.0
Monthly mean incident solar radiation [$\text{MJ}/(\text{m}^2\text{day})$]	15.0	16.9	17.9	13.4	15.8
Monthly integrating incident solar radiation [MJ/m^2]	426.5	370.2	431.2	373.9	1601.8
Monthly integrating gain solar radiation [MJ/m^2]	172.7	155.3	189.5	154.3	671.8
Collector efficiency [%]	30.2	36.2	37.3	30.0	33.4
Operation time of collector [h]	229	222	224	208	883

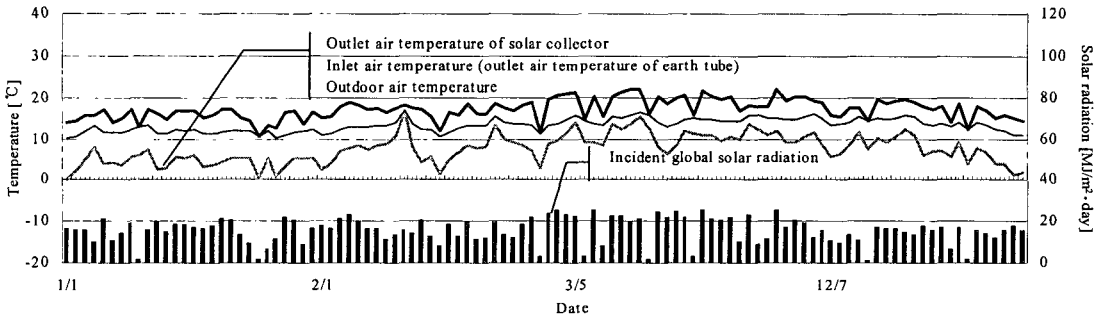


Fig. 11 Variations of daily mean outdoor air and inlet/outlet temperature and solar radiation in winter.

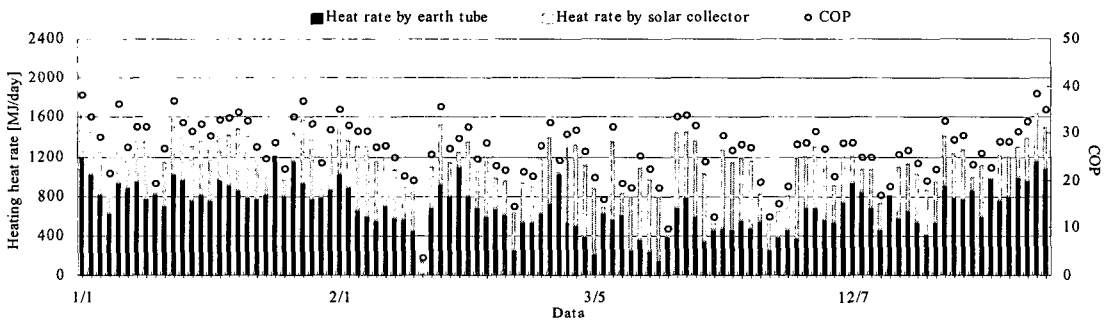
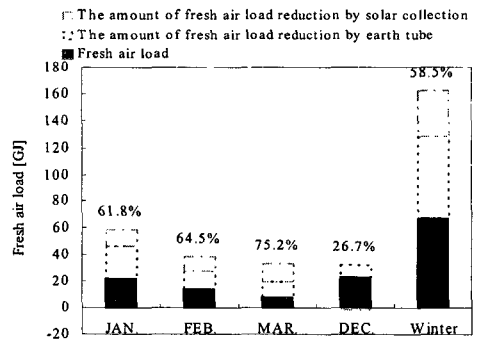


Fig. 12 Variations of daily mean heating heat rate and Coefficient of performance in winter.

라서 어스튜브 시스템 단독 운전시와 비교해서 외기부하 저감비율은 약 27% 증가하였다.

한편 Table 6에 어스튜브 시스템과 병용한 공기식 집열기의 운전제어 방법에 따른 성능변화를 나타내었다. Table 6에 나타낸 바와 같이 비운전 제어시, 외기온 15°C(동기의 토양 평균온도)를 기준으로 운전제어를 할 경우와 비교해서 어스튜브 및 공기식 집열기에 의한 동기적산 가열열량은 각각 0.1 GJ와 3.3 GJ로 증가하였으나 팬의 소비 전력이 0.2 GJ 증가함으로 인해 성능계수가 약 4% 감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 어스튜브 시스템과 병용한 공기식 집열기에 의해 동기의 외기부하 감소량 증가 및 출구온도의 상승효과를 확인할 수 있었



* A number is the ratio of fresh air load reduction by earth tube combined with solar collector.

Fig. 13 Variations of a fresh air sensible heat load and its reducing amount in winter.

Table 6 Variation of system performance by each operation control in winter

Operating control		Heating heat rate	FAN power	COP
8 : 00 ~ 17 : 00 ;	On: earth tube On: solar collector	122.7 [GJ/season]	4.58 [GJ/season]	26.8
Outdoor temp. < 15°C ;	On: earth tube On: solar collector	119.5 [GJ/season]	4.39 [GJ/season]	27.3
Outdoor temp. ≥ 15°C ;	Off: earth tube On: solar collector			

고, 운전제어에 의해 시스템의 성능이 약간 향상됨을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 지열을 이용한 어스튜브 시스템과 공기식 집열기를 병용하여 냉각 및 가열한 외기를 실내에 직접 도입하는 시스템을 대상으로 외기부하 저감효과, 운전제어에 따른 시스템의 성능변화 및 동기의 출구온도 상승효과에 관하여 수치 시뮬레이션을 통해 정량적으로 검토하였다.

우선, 하기의 어스튜브 시스템에 의해 주변 토양의 기간 평균 온도와 외기온에 의해 시스템의 운전제어시, 외기부하 저감율은 약 76%로 나타났으며, 하기 평균 성능계수는 7.95로 나타났다. 하기의 비운전 제어의 경우 하기 평균 성능계수는 1/2 정도로 감소하는 것으로 분석되어졌다.

둘째, 동기에 있어 어스튜브 시스템과 공기식 집열기를 병용함으로써 인해 동기 평균 출구온도가 약 4.6°C 상승하는 것으로 나타났다. 또한 주변 토양의 기간 평균 온도와 외기온에 의해 시스템의 제어시, 외기부하 저감률은 어스튜브에 의해 40%, 공기식 집열기에 의해 27%로 나타났으며, 동기 평균 성능계수는 27.3으로 어스튜브 단독운전의 경우와 비교해 약 1.7배 증가하는 것으로 분석되어졌다. 동기의 시스템 운전제어는 시스템의 성능에 크게 영향을 미치지 않는 것으로, 공기식 집열기를 어스튜브 운전과 연동해서 주변 토양의 기간 평균 온도와 외기온에 의한 운전제어시, 시스템 성능이 약간 향상되는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 공조외기부하 저감을 위해 지열을 이용한 어스튜브 시스템에 대해 하기의 시스템 성능향상을 위한 어스튜브 시스템의 운전제어의 필요성 및 동기의 출구온도 상승을 위한 공기식 집열기와의 병용 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Lee, S. B., Kim, G. H. and Lee, M. K., 2002, A study on energy saving potential in multi-family residential complex using mass cooling effects, *Journal of AIK*, Vol. 18, No. 1, pp. 217-224.
2. Park, H. S., 1995, A study on heat and mass transfer of the natural cooling system using the underground energy, *Journal of AIK*, Vol. 11, No. 10, pp. 187-197.
3. Zhang, Q. and Ishihara, O., 1995, Discussion on the exit temperature and cooling energy of cooling tubes for design, *Journal of AIJ*, No. 477, pp. 11-18.
4. Kimura, K., Maeda, K. and Onojima, H., 1983, Study on the passive cooling effects of cool tube, *Summaries of technical paper of annual meeting*, AIJ, pp. 675-678.
5. Chun, W. G., Lim, S. H., Jeon, M. S. and Yoon, J. H., 1992, A study on the air system for space heating, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 12, No. 1, pp. 34-39.
6. Kim, B. C., Shin, H. J., Choi, K. H. and Kum, J. S., 2000, Study on the collector efficiency of an air heater in a solar air conditioning system, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 20, No. 4, pp. 1-8.
7. Park, J. U., Lee, E. J. and Chung, M., 2003, Study on development of subroutine based on TRNSYS for unglazed transpired air collector system, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 23, No. 2, pp. 81-90.
8. Son, W. T., Nagai, H. and Okumiya, M., 2001, Part 10: The examination on model taking account of hygroscopic concrete, *Summaries of technical papers of annual meeting*, AIJ D-2, pp. 503-504.
9. Hottel, H. C. and Whillier, A., 1958, *Trans. Conf. Use of Solar Energy*, University Arizona, Vol. 2, p. 74.