

## 지열을 이용한 空調外氣負荷低減시스템의 설계 및 도입 효과에 관한 연구

- 실측결과 및 열성능 예측을 위한 수치모델의 제안 -

### Study on Designing and Installation Effect of Fresh Air Load Reduction by using Underground Double Floor Space - Experimental Result and Proposal of Numerical Model for Thermal Performance -

손 원 득\*, 최 영 식\*\*

Won-Tug Son, Young-Sik Choi

#### <Abstract>

This paper presents a feasibility study of a fresh air load reduction system by using an underground double floor space. The system was introduced into a real building and was examined by the field measurement. Judging from the measurements during three years(1999~2001), the state of the system operation was very stable through this period and it was clear that the system contributes to reduction of energy consumption for air-conditioning. Furthermore, a simulation model used the simple heat diffusion equation was developed to simulate its thermal characteristics and performances. The simulations resulted in air temperature in good agreement with the measurements. Also, from the result of numerical analysis, it is clear that the amount of heat supply by using this system is more than the amount of energy loss to the room above it. Therefore, it is concluded that this systems is very useful and the proposed numerical model can be used for the prediction of system thermal performance.

*Keywords* . Fresh air load reduction system, Underground pit, Geothermal energy

#### 1. 서 론

지구환경문제 및 자원고갈 문제를 해결하기 위해 자연에너지 사용 및 미이용(未利用) 에너지를 사용한 다양한 기술이 제안되었다<sup>1)2)</sup>.

본 연구에서는 이러한 관점에서 건물의 지하 이중슬래브 공간에 공조용 필요 외기를 도

입해서 주변구체(토양)와의 열교환을 통해 공조용 외기부하의 저감 및 냉각효과를 기대할 수 있는 시스템의 실현 가능성 및 최적이용법에 관해 실측 및 수치계산을 통해 검토하고자 한다.

지열 이용의 일반적인 수법으로는 지열을 이용한 히트펌프, 쿨튜브 및 온실을 위한 지

\* 정희원, 일본 二重大學 工學部 SVBL 강사, 工博  
나고야대학 대학원 건축학과 졸업  
\*\* 정희원, 영남이공대학 건축과 교수, 工博  
나고야공업대학 대학원 건축학과 졸업  
E-mail cvs@ync.ac.kr

Post doctoral fellow, Mie University SVBL, PhD  
1515 Kamihama-Cho, Tsu 514-8507 JAPAN  
Tel +81-59-231-9446 Fax +81-59-231-9452  
E-mail sonwt@bbzone.net



Table 1 Schema of equipment

Supply fan	Air volume 4,000CMH, Dynamic pressure 5mmAq, Input 0.4kW Number of fan 4
Operating condition	Operation schedule AM8:00 ~ PM5:00 operating control on outdoor air temperature is more than 25°C in summer outdoor air temperature is lower than 10°C in winter

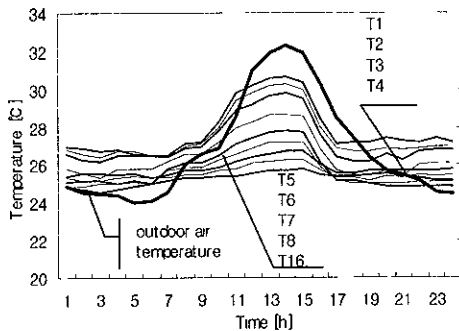


Fig. 4. Daily variations of air temperature for the A route in summer

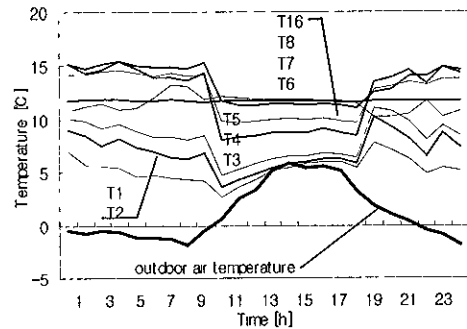


Fig. 5. Daily variations of air temperature for the A route in winter

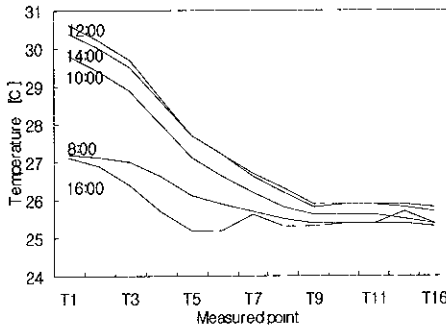


Fig. 6. Variations of air temperature at each time in summer

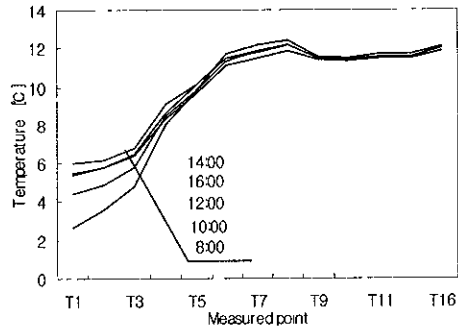


Fig. 7. Variations of air temperature at each time in winter

팬 정지 시에는 팬의 부속서터가 닫혀지므로, 아트리움 내의 공기와 피트 내 공기의 혼합은 발생하지 않으나, 외기 흡입구는 통상 개방되어있기 때문에 피트 내외의 온도차 및 외풍에 의해 소량의 외기가 피트 내에 침입한다

### 3. 실측항목 및 실측방법

실측은 Fig 2에 나타난 지하피트 내 각 지점의 공기온도 24점(T1-T25, T14는 제외), 지하피트 내 벽면온도 24점, 피트 하부 1m지점의 지중온도 2점의 총 50점을 데이터 로그와 컴퓨터에 의해 1시간단위로 자동계측 하였다

외기온은 건물의 중앙감시시스템의 계측데이터를 이용하였다 그리고 피트 내의 공기유량은 주요 피트 내 개구부의 풍속을 열선풍속계를 이용해 '99년 하기 운전중 계측하였다

### 4. 실측결과

실측은 '98년 8월 9일부터 현재까지 계속해서 행하고 있으며, 본 논문에서는 1999년~2001년까지의 3년 간의 결과를 보고한다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 흡인되어진 외기공기는 대략 3개의 경로(A~C)를 통해 아트리움 내에 취출된다

지열을 이용한 空調外氣負荷低減시스템의 설계 및 도입 효과에 관한 연구  
 - 실측결과 및 열성능 예측을 위한 수치모델의 제안 -

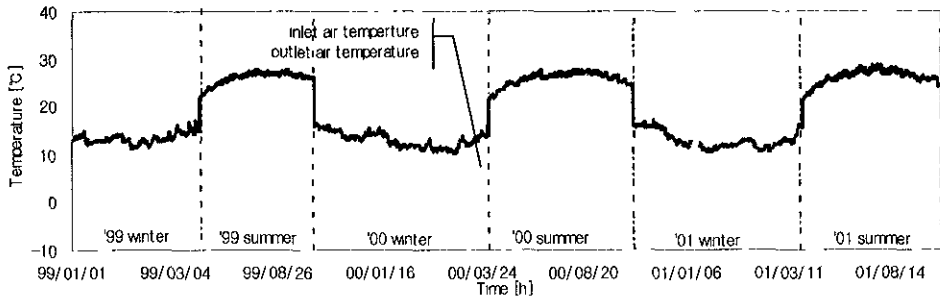


Fig. 8 Variations of inlet/outlet air temperature and its difference when supply is operating

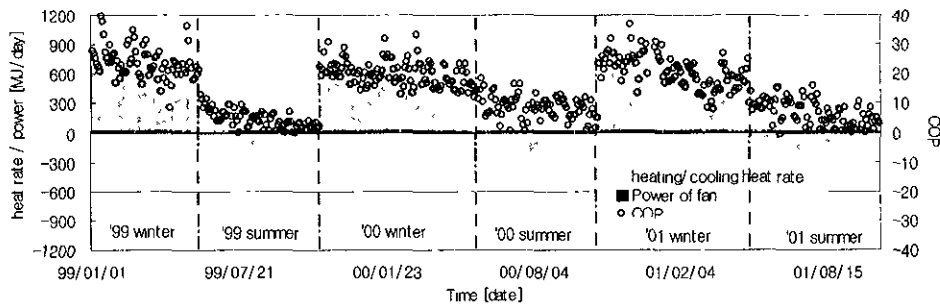


Fig. 9. Variations of heating/cooling heat rate and coefficient of performance

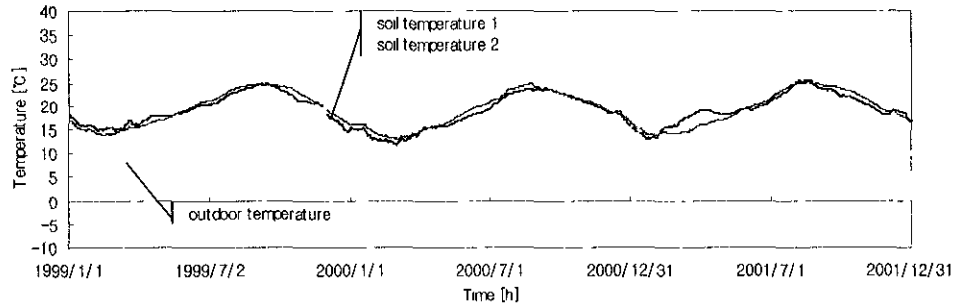


Fig. 10. Variations of outdoor air temperature and soil temperature

Fig 4에 3개의 경로 중, 가장 긴 경로(50m)인 A경로의 하기 대표일(최고온도 발생일)의 피트 내 공기온도의 일변화률, Fig. 5에 공조 시간대의 각 시간별 입구에서 출구까지의 공기온도 변화를 나타내었다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 비공조 시간대의 피트 내 온도분포는 2℃정도로 비교적 그 온도 폭은 작으나 팬의 운전시작전과 정지 후, 약간의 온도상승 경향이 나타났다 이것은 당일 피트 내에서의 외기 냉각효과에 따른 것으로 생각되어진다 또 Fig 5에 표시한 것처럼 취출구 부근의 T8, T9지점의 공기온도는 하루동안 거의 변화가 없었다. 그 원인은 하기의 A계통 도입 외기가

입구에서 T8지점까지 도달하는 동안 충분한 열교환이 이루어졌거나 또는 T8지점에서 B, C계통과의 공기혼합이 이루어진 것이 원인으로 추측되어진다

Fig 6에 A계통의 동기 대표일(최저온도 발생일)의 피트 내 공기온도의 일변화률, Fig 7에 공조 시간대의 각 시간별 입구에서 출구까지의 공기온도 변화를 나타내었다 그림에 나타낸 바와 같이 비공조 시간대의 피트 내 공기 온도 변화 폭은 10℃정도로 하기보다 상당히 큰 것으로 나타났다 이것은 동기의 피트 내 평균온도와 외기온도의 차가 하기에 비해 증가함으로 인해, 동기의 열교환량이 증가한 것으로 분석된

다. 한편 오후에도 외기온이 6℃정도로 상당히 낮음에도 불구하고, 공조 시간대의 취출구 공기 온도는 12℃정도로 대체로 일정했다.

Fig. 8에 외기도입용 팬의 운전 시 피트 출입구 온도와 그 온도차의 연변화를 나타내었다 단 취출구 온도는 각 계통의 평균값을 사용하였다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 하기의 취출구 공기온도는 조금씩 상승하며, 동기의 취출구 공기온도는 조금씩 저하하는 경향을 나타내었으나, 각각의 기간동안 거의 일정한 외기공기의 냉각 및 가열이 이루어지고 있음을 확인 할 수 있었다 또한 하기, 동기의 출입구 기간평균 온도차는 각각 약5℃, 7℃로 나타났다

Fig. 9에 도입외기의 냉각 및 가열량과 성능계수(COP=냉각 및 가열량 / 팬의 소비전력)의 연변화를 나타내었다 하기의 기간적산 냉각열량은 41 1GJ, 동기의 기간적산 가열열량은 159 6GJ로 나타났으며, 3년 간의 평균 COP는 약 15로 나타났다.

Fig 10에 실측기간 내의 외기온도와 지중온도(피트로부터 1m)를 나타내었다 그림에 나타낸 바와 같이 지중온도는 3년 간의 실측기간 동안 거의 일정한 온도변화를 나타내었다 이것은 본 시스템의 운전에 의해 발생하는 동기와 하기의 열량 차가 주변 토양에 미치는 영향이 작다는 것을 의미하며, 주변토양은 본 시스템의 운전에 대해 충분한 열용량을 가지고 있기 때문에 본 시스템은 연간을 통해서 안정된 운전이 이루어지고 있다고 판단된다

### 5. 수치모델

지금까지는 본 시스템의 개요 및 3년 간에

결친 시스템의 운전 실측결과를 나타냈으며, 여기서는 실측결과를 간단한 수치모델을 이용한 수치해석 결과를 실측치와 비교검토 하고자 한다. 전술한 바와 같이 본 시스템은 쿨류브 시스템과는 달리 공기유동이 상당히 복잡하며, 또한 공기의 흐름은 기본적으로 난류이다 따라서, 이 복잡한 지하피트를 상세히 모델 화하여 수치계산을 한다는 것은 설계의 관점에서 보면 비현실적이다. 본 수치 모델에서는 주요 공기통로인 A계통만을 대상으로 Fig. 11에 나타낸 바와 같이 간단한 2차원 계로 가정하였다. 본 계산을 위해 이하와 같은 가정을 하였다

- (1) 공기유량은 평균측정치를 사용해 일정하다고 가정하며, 흐름은 난류가 아닌 층류로 가정한다
- (2) 토양과 벽에 있어서 열전달은 단순열전달만을 고려한다
- (3) 피트 내의 공기에 대해서는 공기의 이류와 지하피트의 상하슬래브 표면열전달만을 고려한다

- 토양(토양,벽)의 열평형 방정식

$$c_{w,s}\rho_w s \frac{\partial \theta_{w,s}}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 \theta_{w,s}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_{w,s}}{\partial y^2} \right)$$

- 지하피트 내 공기의 열평형 방정식

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

- 경계조건

$$q = \alpha (\theta_{a,o} - \theta_{w,s}) = -\lambda \frac{\partial \theta_{w,s}}{\partial y}$$

지표면과 지하피트 내 슬래브표면 및 지하피트의 상부 거실의 바닥표면은 제3종 경계조건을, x방향(공기의 흐름 방향)의 양단은 단열

Table 2. The condition of simulation

Geometric Earth tube	Length 50m (A route)
Selectional area of Earth tube	Width 7m Height 14m
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℃ uniformity, Winter non-air conditioning 15℃, air conditioning period 18℃, Inter-phase mean value between summer and winter season
Operating control	On outdoor air temperature is more than 25℃ in summer outdoor air temperature is lower than 15℃ in winter
Air velocity in earth tube	non-air conditioning period 0 09%, air conditioning period 0 18%
Disturbance	Outdoor air temperature, solar radiation
Temperature deep in the ground	14 3℃ (annual mean outdoor air temperature)
Convective heat transfer coefficient	Underground pit α=6 2+4 2V [W/(m²K)], Indoor 9 3 [W/(m²K)]
Finite-difference scheme	Convection upwind method, diffusion central time term forward

조건으로 설정하였다 단 대상으로 한 토양은 현장에서 관측결과로부터 砂質토양으로 설정하였다<sup>4)</sup>. 계산 조건 및 계산에 사용된 각 재료의 열물성치를 Table 2, 3에 나타내었다 외기온도는 시스템 중앙감시스템에 의한 실측치를 사용했다. 피트 내 풍속에 대해서는 하기에 실측한 풍속으로부터 풍량을 산출하여 피트 평균단면적으로 나눈 값( $V=0.18\%$ )을 사용하였다

## 6. 수치모델의 타당성 검토

Fig. 12, 13에 하기 대표일(최고온도 발생일)과 동기 대표일(최저온도 발생일)의 각각 1주일간의 출구 공기온도의 실측치와 계산치의 비교를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 측정치와 계산치는 외기온이 최고온도 및 최저온도의 경우임에도 잘 일치하고 있으며 그 온도차는  $0.5^{\circ}\text{C}$  이하로 나타났다. 한편 계산치가 실측치보다 약간 높은 결과를 나타내었으나 이것은 지하피트 내 온도와 외기온도의 차가 클 경우, 팬의 정지 시에 외기가 지하피트 내에 유입되어 피트 내의 온도를 저하시키는 현상을 계산에서는 고려하지 않았기 때문이라고 추측되어진다 이러한 현상의 정량적인 영향은 차후 검토할 필요가 있으나 팬의 정지 시에는 취출구뿐만 아니라 흡입구에도 외기유입의 방지책을 필요로 하는 것을 확인 할 수 있었다

본 논문에서는 지하피트 하부 1m지점의 지중온도의 연변화의 결과에 대해서는 생략하였으나, 계산치가 실측치보다 약간 크게 나타났으나, 연변화 경향은 잘 일치하였다. 계산치가 크게 나타난 이유는 본 모델은 토양 내의 열이동을 단순한 열전도만 고려했기 때문에, 降雨와 같은 영향에 의한 토양 내의 수분의 영향을 고려하지 않았기 때문이라고 추측되어진다

이상의 결과로부터, 단순 열전도에 의한 수치모델을 이용함으로써 본 시스템의 열적특성을 예측할 수 있음이 확인되었다. 단, 토양 내의 수분이동의 영향에 대해서는 차후 상세히 검토할 필요가 있다.

## 7. 시스템의 성능 검토

토양과 같은 항온매체를 열원으로 사용할 경우, 하기와 동기의 토양과의 기간 적산 열

Table 3. Thermal property used for simulation

	Specific heat [J/m <sup>3</sup> K]	Thermal conductivity [W/m K]
Concrete	18879	1.40
Soil	28005 (saturation)	2.9 (saturation)
	17539 (12.5vol %)	2.17 (12 vol 5%)
Air	121	-

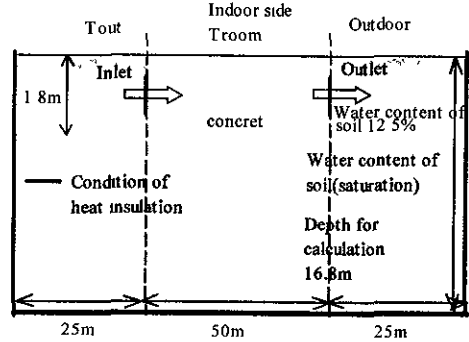


Fig. 11. The scheme of underground pit space and surrounding ground area

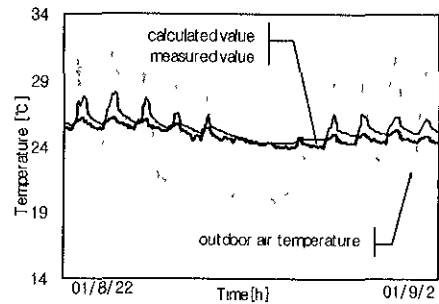


Fig. 12. Comparison of measured and calculated outlet temperature in summer

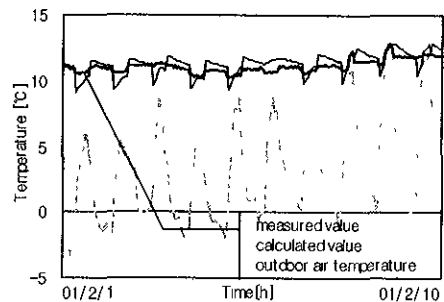


Fig. 13. Comparison of measured and calculated outlet temperature in winter

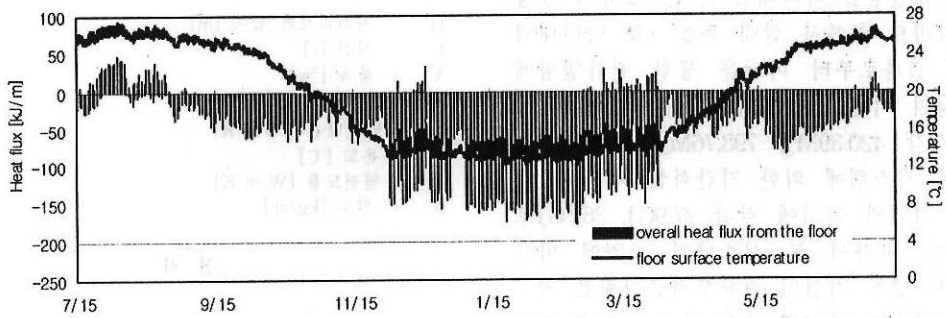


Fig. 14. Variations of floor surface temperature on the room side and overall heat flux from the floor when this system is operating

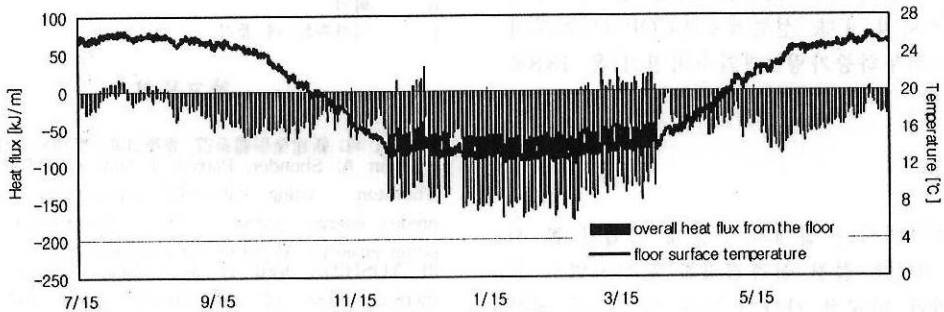


Fig. 15. Variations of floor surface temperature on the room side and overall heat flux from the floor when this system is not introduced

교환량이 균형을 이룰 경우가 가장 효율적이라고 볼 수 있다<sup>5)</sup>. 그러나 본 시스템과 같이 요구되어지는 온도의 연평균치(실온)와 열원의 연평균온도가 상이할 경우에는 열원에 負荷하는 열량 적산치의 균형을 이루는 것은 매우 난이 하며 본 시스템의 시뮬레이션 결과로부터도 동기, 하기의 열교환 열량비는 3:1로 나타났다. 따라서 본 장에서는 수치계산에 의해 본 시스템이 장기간에 걸쳐 사용되어진 경우 안정된 성능의 유지여부에 대해 검토를 하고자 한다. 10년 간의 본 시스템에 의한 도입 외기의 냉각 및 가열열량을 Table 4에 나타내었다. 단, 외기온은 실측치를 사용하였다. Table 4에 나타낸 바와 같이 2년째 이후부터의 냉각 및 가열열량은 일정하게 유지되고 있음을 확인 할 수있다. 따라서 본 시스템의 운전에 대해 주변 토양은 충분한 열용량을 가지고 있으며 시스템은 장기간에 걸쳐 일정한 성능을 유지할 수 있음을 확인하였다.

한편, 서론에서 서술한 바와 같이 본 시스템의 도입으로 인한 지하피트 상부 居室의 바

Table 4. Estimated heat rate for ten years (unit: MJ)

year	cooling heat rate	heating heat rate
1	-26455.2	84659.8
2	-20980.0	70909.6
3	-21079.8	70733.4
4	-21107.2	70683.1
5	-21114.9	70669.5
6	-21116.8	70666.2
7	-21117.3	70665.4
8	-21117.4	70665.2
9	-21117.5	70665.1
10	-21117.5	70665.1

다를 통한 관류부하는 일반적인 居室보다 증가한다. 따라서 본 시스템의 도입에 따른 외기부하 저감량이 관류부하 증가량보다 큰 경우에 한해 본 시스템의 도입으로 인한 에너지 절약 효과를 기대할 수 있을 것이다. 여기서 수치계산에 의해 본 시스템의 도입에 따른 지하피트 상부 거실의 바닥을 통한 관류열량 증가에 관해 검토를 하고자 한다. Fig. 14에 시

시스템의 도입시의 관류열량을 Fig 15에 비도입시의 관류열량을 나타내었다 단, 열류의 방향은 지하피트 측에서 실내 측을 +로 나타내었다. 이 결과로부터 바닥을 통한 관류열량에 의한 실의 기간적산 부하증가량은 하기와 동시에 각각 420.39MJ, 798.76MJ로 나타났다 반면 본 시스템에 의한 기간적산 외기부하저감량은 하기와 동시에 각각 27.9GJ, 36.8GJ로 나타났다 따라서 본 시스템의 도입에 따른 지하피트 상부 거실의 관류부하증가량은 외기부하 저감량과 비교해 매우 작게 나타난 결과로부터 본 시스템은 現狀의 제어방법에 의해 유효하게 운전되고 있음을 확인 할 수 있었다 시스템의 正味 성능계수(SCOP=(외기부하저감량-실부하증가량)/팬의소비전력)은 13.8로 나타났다

## 8. 결 론

본 연구에서는 실제의 건물에 도입된 본 시스템의 3년에 걸친 실측결과를 분석하였고 실측 결과를 비교적 간단한 단순 열전도에 의한 수치예측 모델에 의한 수치적 결과와 비교함으로써 본 모델의 타당성 및 이용가능성을 확인하였다 또한 실측 및 수치해석 모델을 이용하여 장기간의 시스템의 안정성 및 성능을 분석한 결과, 본 시스템의 운전에 대해 주변 토양은 충분한 열용량을 가지고 있고 시스템은 장기간에 걸쳐 일정한 성능을 유지할 수 있음을 확인하였으며, 본 시스템의 도입에 따른 에너지 절약효과를 명확히 하였다

## 기 호

D	지하피트의 높이 [m]
t	시간 [s]
V	풍속 [%]
x, y	길이, 깊이 [m]
a	열전달율 [W/m <sup>2</sup> K]
θ	온도 [°C]
λ	열전도율 [W/m K]
ρ	밀도 [kg/m <sup>3</sup> ]

## 참 자

w	지하피트 콘크리트
s	토양
a	실내공기
o	외기
p	지하피트 내 공기

## 참고문헌

- 1) 中原 외 新建築學體系27, 建築計劃, 彰國社, 1982
- 2) John A Shonder, Patrick J Hughes, PE., Jeff W Thornton using calibrated engineering models to predict energy saving in large-scale geothermal heat pump projects, ASHRAE Transactions 104(1)
- 3) YOSHIDA toru et al field measurement of thermal effect of the ground using underground concrete duct for outdoor air intake, summaries of technical papers of annual meeting SHASE of japan, B pp 625-628, 1994
- 4) Mamoru M, Hisaya N and Tomoaki U Numerical analyses of thermal behavior in and around the thermal well, Journal of architecture, planning and environmental engineering AIJ, No 470, pp 37-44, 1995
- 5) Mamoru M, Hisaya N and Tomoaki U Experimental studied on application of the ground for annual heat storage part1, Journal of architecture, planning and environmental engineering AIJ, No 464, pp 31-38, 1994

(2003년 12월 2일 접수, 2004년 8월20일 채택)