

# 냉방과 난방 부하 감소를 위한 지하피트의 이용 가능성

조 성 우<sup>†</sup>  
부경대학교 건축학부

## The Possibility on Utilization of Underground Pit for Reduction of Cooling and Heating Load

Sung-Woo Cho<sup>†</sup>

Division of Architectural Engineering, Pukyong University, Busan 608-737, Korea

(Received August 17, 2005; revision received December 27, 2005)

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to predict outlet temperature and humidity through underground pit for the reduction of cooling load and heating load. Commonly, the underground temperature is lower than outdoor in summer but the reverse happens in winter. When the outdoor average air temperature is 25.7°C during cooling periods, the average outlet air temperature through underground pit is 23.6°C with 3 m-depth and 60 m-length and is 22.2°C with 3 m-depth and 150 m-length. When the outdoor average air temperature is 4.9°C during heating periods, the average outlet air temperature through underground pit is 7.7°C with 3 m-depth and 60 m-length and is 10.8°C with 3 m-depth and 150 m-length. The outlet air temperature is affected by more length than depth of underground pit. The diffusion ratio of outdoor humidity is  $-7.7 \times 10^{-8}$  kg/s in cooling periods and  $9.29 \times 10^{-7}$  kg/s in heating periods.

**Key words:** Geothermal energy(지열), Underground pit(지하피트), Natural ventilation(자연환기), Diffusion coefficient(확산계수)

### 기 호 설 명

$A$  : 지하피트의 면적 [ $m^2$ ]  
 $B, S$  : 지하피트변의 길이 [ $m$ ]  
 $C_p$  : 공기비열 [ $kJ/kg K$ ]  
 $d$  : 길이 [ $m$ ]  
 $D_v$  : 확산계수 [ $mm^2/s$ ]  
 $hc$  : 대류 열전달률 [ $W/m^2\text{ }^\circ C$ ]  
 $k$  : 공기의 열전도율 [ $W/m\text{ }^\circ C$ ]  
 $M_A, M_U$  : 수증기의 분자량  
 $m_A, m_U$  : 통과 기체에서의 확산 수분량 [ $kg/s$ ]

$P$  : 압력 [ $Pa$ ]  
 $R_o$  : 기체상수(8315 J/kg mol K)  
 $T$  : 공기온도 [ $K$ ]  
 $T_{Ai}$  : 최초 공기온도 [ $K$ ]  
 $T_m$  : 평균 공기온도 [ $K$ ]  
 $T_s$  : 지하피트의 표면온도 [ $K$ ]  
 $V$  : 유속 [ $m/s$ ]  
 $x$  : 지하피트의 길이 [ $m$ ]

### 그리스 문자

$\alpha$  : 열확산계수 [ $m^2/s$ ]  
 $\beta$  : 열팽창계수 [ $1/K$ ]  
 $\nu$  : 점성계수 [ $m^2/s$ ]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-403-3019; fax: +82-55-350-5349

E-mail address: c\_sungwoo@hotmail.com

하첨자

- 1, 2, 3, 4 : 지하피트의 각 면
- AU : 통과유체에서 주변공기로의 확산계수
- UA : 주변공기에서 통과유체로의 확산계수

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물에서 에너지 소비는 냉방과 난방에 집중되어 있으나, 난방의 경우에는 전기에너지와 더불어 석유, 석탄 등의 기타 에너지를 사용할 수 있는 반면, 냉방의 경우에는 1992년부터 일정 규모 이상의 건축물에서는 가스냉방 또는 축냉식이 의무적으로 설치되고 있으나, 2000년도의 경우를 살펴보면 전력과 가스에 의한 냉방에너지 분담비율은 9 : 1 정도로 대부분이 전기에 의존하고 있다.<sup>(1)</sup> 이로 인하여 여름철에는 전력 공급예비율이 낮아지는 경우도 빈번하게 발생한다.

우리나라의 에너지소비량을 살펴보면, 1997년을 기준<sup>(2)</sup>으로 석유에 대한 의존도가 전체 에너지소비의 약 60%를 차지하고 있으나, 청정에너지의 비는 이의 1/3에 해당하는 21% 정도이다. 그러나 청정에너지 가운데서 가스와 원자력이 차지하는 약 20%를 제외한 자연에너지와 미활용에너지를 이용한 경우는 아주 미미한 실정이다.

일본의 북 큐슈지방에 위치한 대학의 경우, 80m의 지하피트를 이용하여 연간 221 Gcal/year의 에너지 감소에 대한 보고가 있고, 매설 깊이 3m에서 외기온이 -20℃에 대하여 깊이가 80m인 경우의 출구온도는 5℃, 하기 35℃에 대해서는 13

℃의 출구온도가 조사되었다는 보고가 있다.<sup>(3,4)</sup>

최종 논문은 태양열굴뚝과 지중열을 이용한 시스템의 성능에 대하여 연구하는 것으로, 본 연구에서는 냉방과 난방에 있어서 연중 온도변화가 적은 콘크리트로 타설된 지하피트(underground pit), 즉 지중열(geothermal)을 이용하고자 한다.

이를 위하여 지중열을 이용한 지하피트의 매설 깊이와 길이의 변화에 따른 출구공기의 상태를 파악하여 그 활용성에 대한 타당성을 알아보고자 함을 목적으로 한다.

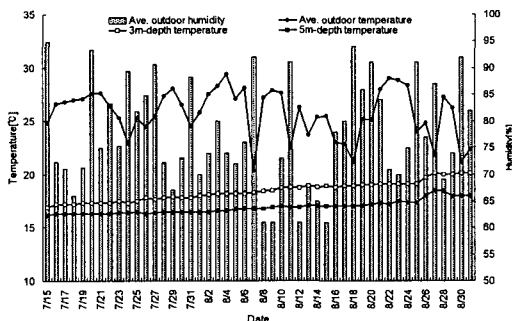
1.2 연구의 방법

본 연구에서는 대상지역을 부산지방으로 하였으며, 냉방기간은 7월 15일부터 8월 31일, 난방기간은 12월 15일부터 2월 28일까지로 상정하였으며, 대상기간 동안 지하피트의 출구온도를 조사하기 위하여 외기온도와 습도는 부산지방 기상청의 기상자료를 정리하였고, 지하 3m와 5m 깊이의 지중온도는 기상청에서 제공하는 철관지중온도를 이용하였다.

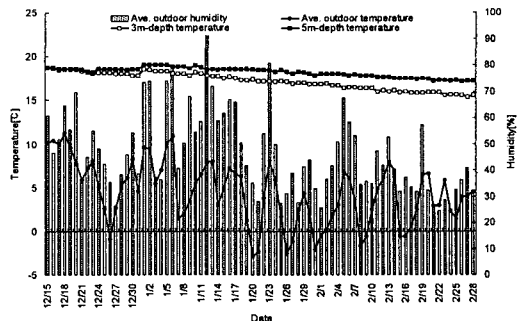
지하피트와 외기와 열교환에 의한 열평형방정식을 도출하여 계산된 값을 이용하여, 하기 및 동기의 지하피트 출구공기에 대한 공기온도를 조사하였으며, 수분의 변화량은 물질평형식으로부터 계산하였다. 이를 토대로 공기선도를 이용하여 냉방과 난방 부하에 소비되는 에너지량을 예측하여, 지하피트의 활용 가능성에 대한 타당성을 조사하였다.

2. 대상지역의 기상특성

대상지역의 하기와 동기의 기상특성은 Fig.1과



(a) Cooling season



(b) Heating season

Fig. 1 The weather characteristic in Busan.

Table 1 The temperature of outdoor air and underground

Month	Jul.	Aug	Dec.	Jan.	Feb.
Max. or min. temp. [°C]	31.3	32.8	-4.8	-5.9	-6.4
Average temp. [°C]	25.3	26.7	7.3	4.3	3.2
Average RH [%]	86.9	85.2	46.2	53.2	38.4
Average 3 m-depth [°C]	17.0	18.9	18.6	17.6	16.0
Average 5 m-depth [°C]	16.2	17.2	18.7	18.5	17.5

같고, 대상기간 중 일 최고와 최저 온도 및 지중 온도의 평균값은 Table 1과 같다. 외기온도와 비교하여 하기 최저온도와 동기 최고온도와 관계를 고려하여 매설깊이 3m와 5m에 대하여 취출 온도를 조사하고자 한다.

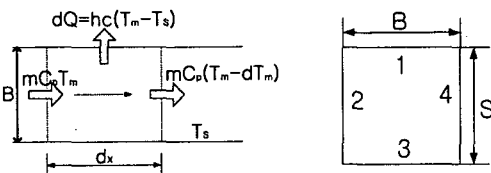
### 3. 지하피트의 열교환 및 물질이동에 대한 수치모델

#### 3.1 지하피트 내의 열교환에 대한 수치모델

본 연구에서 가정한 지하피트는 사각형의 형태로 내부의 찬 표면과의 열교환에 의해서 통과하는 외기의 공기상태는 변화하게 된다. 즉, 하기의 경우에는 통과하는 공기온도는 하강하게 된다. 또한, 정부에서 권장하는 주거용 건축물의 실내 설정온도가 26~28°C이므로, 지하에 매설된 지하피트의 취출온도가 실내 설정온도보다 낮은 24°C 이하가 되면 보다 경제적인 외기냉방이 가능하다고 판단되며, 이에 따른 보고<sup>(5)</sup>도 있다.

반대로 동기의 경우에는 지하피트의 내표면과의 열교환을 통하여 통과하는 공기의 온도는 상승하게 되며, 이를 공조기에 유입시킴으로써 난방에 소비되는 에너지를 줄일 수 있을 것이다.

지하피트의 외벽은 지표면과의 전도현상에 의해



(a) Schematic of heat transfer (b) Cross section  
Fig. 2 Energy equation for heat exchange in underground pit.

서 열이동이 발생하고 있으나, 대류성분에 의한 열이동이 크다고 판단하여 본 연구에서는 대상 깊이 에 해당하는 지하피트의 외표면의 온도와 피트 내표면의 온도는 동일하다고 가정하였다. 출구 온도를 계산하기 위한 수치모델은 Fig. 2와 같으며, 복사성분은 지하피트의 표면온도가 동일하다고 가정하였으므로 이에 대해서는 고려하지 않았다. 각 표면과 통과하는 기체와의 열평형식은 식(1)<sup>(6,7)</sup>과 같이 나타낼 수 있다.

$$mCp dT_m = Bhc_1(T_m - T_{S1})dx + Shc_2(T_m - T_{S2})dx + Bhc_3(T_m - T_{S3})dx + Shc_4(T_m - T_{S4})dx \quad (1)$$

식(1)을 다시 정리하면 식(2)과 같다.

$$\frac{mCp dT_m}{dx} = Bhc_1 T_{S1} + Shc_2 T_{S2} + Bhc_3 T_{S3} + Shc_4 T_{S4} - (Bhc_1 + Shc_2 + Bhc_3 + Shc_4)T_m \quad (2)$$

여기서,  $m = \rho VA$ 로써 질량유량[kg/s]이다.

식(1)과 식(2)는 직사각형 형태의 지하피트에서 각각의 표면과의 열대류에 의한 열이동을 표현한 미분방정식으로 이를 풀어서 지하피트의 출구 온도를 예측할 수 있다.

$$T_m = \frac{R1}{R2} + \left\{ T_{Ai} - \left( \frac{R1}{R2} \right) \right\} e^{-R2 \cdot x / mCp} \quad (3)$$

여기서,

$$R1 = Bhc_1 T_{S1} + Shc_2 T_{S2} + Bhc_3 T_{S3} + Shc_4 T_{S4}$$

$$R2 = Bhc_1 + Shc_2 + Bhc_3 + Shc_4$$

여기서 미지수는 대류열전달률(hc)이므로, 피트 내의 공기흐름을 자연대류라고 하면, 식(4)~(6)의 관계로부터 구할 수 있다.

$$Ra = \frac{g\beta(T_m - T_A)S^3}{\nu\alpha} \frac{S}{L} \quad (4)$$

$$Nu = cRa^n \quad (5)$$

여기서,  $Ra = 10^4 \sim 10^9$ 인 경우  $c = 0.53$ ,  $n = 1/4$ 이고,  $Ra = 10^9 \sim 10^{12}$ 인 경우  $c = 0.13$ ,  $n = 1/3$ 이다.

$$hc = \frac{kNu}{d} \quad (6)$$

### 3.2 지하피트 내의 물질이동에 대한 수치모델

지하피트 내를 통과하는 공기는 열이동뿐만 아니라 물질이동도 동시에 발생한다. 물질이동은 확산계수( $D_v$ )에 의해서 이동하게 되며, 본 연구에서는 1952년 Sherwood와 Pigford가 제안한 식(7)<sup>(8)</sup>을 이용하여 확산계수를 계산하였다. 확산계수는 온도와 압력에 대한 변수이므로, 각각의 대상일에 대한 평균 온도와 수증기분압을 이용하여 계산한 값을 적용시켰다.

$$D_v = \frac{0.926}{P} \left( \frac{T^{2.5}}{T+245} \right) \quad (7)$$

물질확산은 완전기체의 방정식을 이용하여 분압으로 나타낼 수 있는 Fick's law에 의해서 물질의 확산 정도를 파악할 수 있다. 이는 통과하는 기체와 주변공기와의 온도차에 의하여 확산이 일어나며, 통과기체가 주변공기로의 확산( $AU$ )은 식(8)로, 역으로 주변공기에서 통과하는 기체로의 확산( $UA$ )은 식(9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{m_A}{A} = -D_{AU} \frac{M_A}{R_o T} \frac{dP_A}{dx} \quad (8)$$

$$\frac{m_U}{A} = -D_{UA} \frac{M_U}{R_o T} \frac{dP_U}{dx} \quad (9)$$

정상상태에서 통과하는 기체( $A$ )의 각 분자는 주변공기의 분자( $B$ )로써 대신할 수 있다. 전체의 압력변화는 식(10)과 같이 나타낼 수 있고, 물질이동은 물질평형에 의해서 발생하게 되므로, 식(8)과 (9)를 다시 정리하면, 식(11)과 같다.

$$P = P_A + P_U \quad (10)$$

$$-D_{AU} \frac{A}{R_o T} \frac{dP_A}{dx} = -D_{UA} \frac{A}{R_o T} \frac{dP_A}{dx} \quad (11)$$

통과하는 기체의 질량유량과 주변공기가 얻는

질량유량은 식(8)과 식(9)을 적분하면 얻을 수 있다. 즉, 통과하는 기체의 수증기압이 높은 경우 주변공기가 얻는 질량유량은 식(12)와 같고, 역으로 주변공기의 수증기압이 높은 경우 통과하는 기체가 얻는 질량유량은 식(13)과 같다.

$$m_u = \frac{-DM_A A}{R_o T} \frac{P_A - P_U}{\Delta x} \quad (12)$$

$$m_A = \frac{-DM_U A}{R_o T} \frac{P_U - P_A}{\Delta x} \quad (13)$$

## 4. 지하피트를 통과한 출구공기의 상태

하기와 동기, 외기는 지하피트를 통과하게 되면서 공기의 상태가 변화하게 되므로, 매설 깊이와 길이의 변화에 따른 출구온도를 조사하였다.

### 4.1 출구공기의 온도변화

#### 4.1.1 하 기

냉방기간 동안 지하피트의 매설 깊이와 길이에 따른 출구온도의 상태는 Fig. 3과 같다.

매설 깊이가 3m이고 지하피트의 길이가 60m 지점인 경우, 평균 출구온도의 범위는 20.2~26.2℃의 분포를 나타내고 있으며, 평균 출구온도는 23.8℃이다. 평균 외기온도와 비교하여 1.9℃의 온도하강 효과가 있다.

동일 깊이에서 지하피트의 길이가 150m인 경우, 출구온도의 평균값은 20~23.9℃이고, 평균 출구온도는 22.2℃로 지하피트 60m와 비교하여 약 1.6℃ 정도 낮게 나타났으며, 하강폭이 0.2~

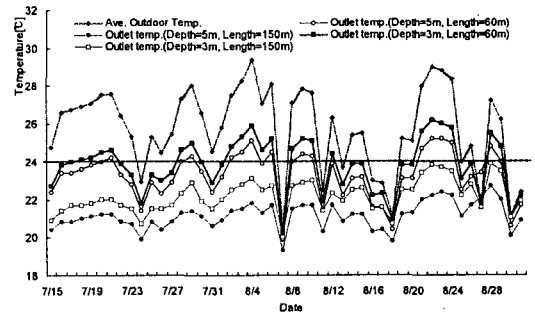


Fig. 3 Outlet air temperature through underground pit for cooling periods.

2.3°C로 큰 것을 알 수 있다. 또한, 평균 외기온도와와의 차는 3.5°C이다.

매설 깊이가 5m이고 지하피트의 길이가 60m 지점인 경우, 평균 출구온도의 범위는 19.9~25.2°C의 분포를 나타내고 있으며, 평균 출구온도는 23.3°C이고, 동일 깊이에서 길이가 150m인 경우, 출구온도의 평균값은 19.3~22.7°C이고, 평균 출구온도는 21.1°C로 나타났다.

경제적인 냉방이 외기냉방이 가능한 24°C를 기준으로 한 경우에 대하여 본 논문에서 상정한 냉방기간(48일) 중 해당 일수를 살펴보면 매설 깊이가 각각 3m와 5m이고, 지하피트의 길이가 150m인 경우에는 냉방기간의 전 기간이 해당하는 것으로 나타났다.

4.1.2 동 기

난방기간 동안의 지하피트의 매설 깊이와 길이에 따른 출구온도의 변화는 Fig. 4와 같다. 매설 깊이가 3m이고 지하피트의 길이가 60m인 경우, 평균 출구온도의 범위는 3.1~12.6°C의 분포를 보이며, 평균 출구온도는 7.7°C이다. 동일 깊이에서 지하피트의 길이가 150m인 경우, 출구온도 평균값은 8.2~14.2°C이고, 평균 출구온도는 10.8°C로

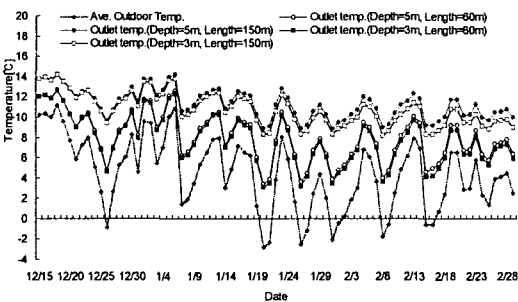


Fig. 4 Outlet air temperature through underground pit for heating periods.

평균 외기온도보다 5.9°C 정도 상승하는 것으로 나타났다.

매설 깊이가 5m이고 지하피트의 길이가 60m인 경우, 평균 출구온도의 범위는 3.4~12.7°C의 분포를 나타내고 있으며, 평균 출구온도는 8.0°C이며, 매설 깊이가 150m인 경우에는 11.3°C를 나타내고 있다. Table 2는 지하피트의 깊이 및 길이별에 따른 출구온도를 나타내고 있다.

4.2 출구공기의 수분변화

평균 출구온도에서 매설 깊이에 따른 온도의 변화량보다 지하피트의 길이에 따른 온도변화량이 크기 때문에 수분의 변화량은 매설 깊이가 3m로 하고, 3장의 2절에 언급한 내용을 토대로 출구온도에 대한 수분량의 변화를 예측하였다.

Fig. 5와 Fig. 6은 하기와 동기의 확산계수와 수분변화량을 나타내고 있다. 여기서 (+)는 통과하는 공기가 지하피트로부터 수분을 획득하는 것을 나타내며, (-)는 통과하는 공기가 지하피트의 수분손실을 의미하는 것이다.

냉방기간 동안 8월 12~15일과 8월 27일, 28일과 30일에는 지하피트의 포화수증기압이 통과하는 수증기압보다 높으므로, 지하피트에서 통과하는 기체로 수분이 이동됨을 알 수 있다.

난방기간 동안에는 전체적으로 지하피트의 포화수증기압이 높으므로 지하피트에서 통과하는 기체로 수분이동이 발생하므로, 어느 정도의 가습 효과도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

지하피트 60m의 경우에 대하여, 냉방기간 동안에 있어서 평균 수분이동량은  $-2.99 \times 10^{-8}$  kg/s이며, 난방기간 동안은  $3.30 \times 10^{-7}$  kg/s이다. 또한, 지하피트 150m의 경우에 있어서는 각각  $-1.20 \times 10^{-7}$  kg/s,  $1.320 \times 10^{-7}$  kg/s를 보이고 있다.

전체적인 수분이동량은 온도의 상승 또는 하강

Table 2 The outlet temperature through underground pit by depth and length

Temp. [°C]	Depth	3 m		5 m	
	Length	60 m	150 m	60 m	150m
Ave.	Summer	23.8	22.2	23.3	21.1
	Winter	7.7	10.8	8.0	11.3
Max.	Summer	28.4 (32.8)	24.9 (32.8)	27.3 (32.8)	23.3 (32.8)
Min.	Winter	-0.6 (-7)	6.9 (-7)	0.9 (-7)	7.7 (-7)

Where, D=Depth, L=Length, ( ) is Max. or Min. temperature.

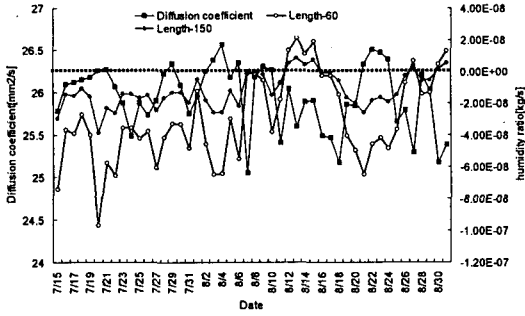


Fig. 5 Diffusion coefficient and humidity ratio in cooling season.

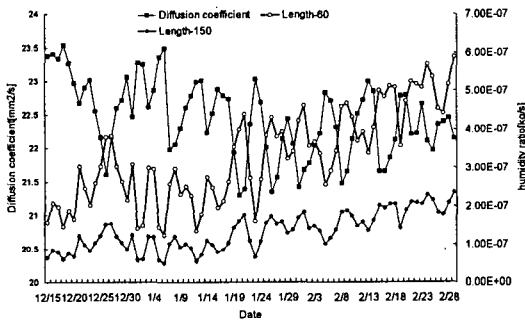


Fig. 6 Diffusion coefficient and humidity ratio in ratio heating season.

에 따른 자연감소(증가)에 의한 것이고, 이에 따라 결로현상의 발생이 우려되므로 제습제 또는 드레인판의 설치가 필요할 것으로 판단된다.

5. 공기선도를 이용한 부하예측

하기와 동기의 최고 및 최저기온을 가진 공기

Table 3 The condition for cooling and heating load using underground pit

		Outdoor [°C]	RH at max. or min. outdoor [kg/kg]
Summer	Max.	32.8	0.0166
	Pit	24.9	0.0192
Winter	Min.	-7	0.0010
	Pit	6.9	0.0048

와 매설 깊이 3m와 길이 150m의 지하피트를 통과한 출구온도를 가지는 공기를 공조기에 유입시킨 경우, 냉방 및 난방 부하의 감소를 공기선도를 이용하여 알아보고자 한다. 본 논문에서 계산된 질량유량은 1인당 필요환기량을 25m³/h로 하여 200명이 생활하는 학교로 가정하여 지하피트를 통과하는 질량유량을 5,000 m³/h로 가정하였다. 유입공기의 상태는 Table 3과 같다.

SHF비는 0.8로 가정하였고, 취출온도차는 12°C(난방의 경우 10°C)로 두고, 실내온도는 26°C(난방의 경우 20°C), 50%로 가정하여 냉방과 난방의 프로세스를 공기선도 상에 나타낸 것은 Fig. 7 및 Fig. 8과 같다.

실선은 지하피트를 통과한 공기를 이용한 경우이고, 점선은 외기를 도입한 경우에 대하여 각각의 엔탈피를 나타내고 있다. 외기와 실내공기의 혼합비를 8 : 2로 한 경우, 각각의 경우에 대한 냉방과 난방 부하는 Fig. 9와 같다. 지하피트를 이용한 경우, 냉방부하는 약 15%, 난방부하는 약 25%의 절약을 꾀할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 실의 공기질을 향상시키기 위하여 도입외기의 비를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

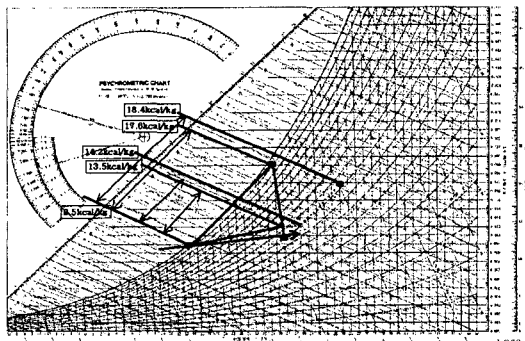


Fig. 7 Cooling load using underground pit.

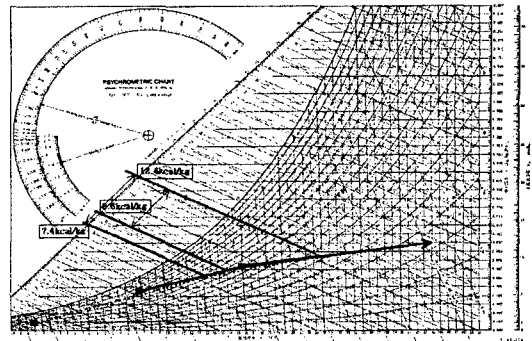


Fig. 8 Heating load using underground pit.

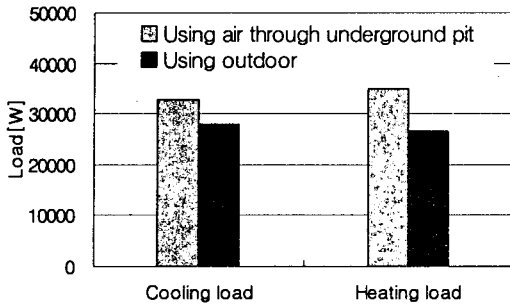


Fig. 9 Cooling load and heating load using air through underground pit and outdoor air itself.

## 6. 결 론

지하피트의 활용 가능성에 대한 수치계산 및 공기선도를 이용하여 냉방과 난방 부하의 계산을 토대로 하여 얻은 예측결과는 아래와 같다.

(1) 냉방기간 동안 지하피트의 출구온도는 외기온도보다 2~4°C 낮고, 동기에는 3~6°C 정도 높게 나타났으므로, 지하피트의 냉난방에 대한 활용 가능성이 높다고 할 수 있다.

(2) 지하 출구온도의 변화는 동일 깊이에 대한 매설 깊이의 변화에 따른 취출온도의 변화는 0.5~1.1°C를 나타내고 있으나, 동일 깊이에 대한 매설 깊이의 변화에 따른 온도변화는 1.6~2.2°C로 차가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 지하피트의 깊이에 따른 온도변화가 크다는 것을 알 수 있으므로, 경제성을 고려하여야 할 것이다.

(3) 매설 깊이가 3m이고, 지하피트 길이가 150m의 경우에 대하여, 냉방기간 동안에 있어서 평균 수분 이동량은  $-1.20 \times 10^{-7}$  kg/s이며, 난방기간 동안은  $1.320 \times 10^{-7}$  kg/s이다. 그러나 하기의 경우, 통과하는 공기보다 지하피트 표면의 포화수증기압이 높은 경우에는 제습 또는 결로가 발생할 우

려가 있으므로 제습제의 설치가 필요하며, 동기의 경우에는 가습의 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

(4) 지하피트를 통과한 공기를 이용한 경우와 외기 자체를 공조기에 도입한 경우를 비교하여 보면, 지하피트를 통과한 공기를 공조기에 도입시키는 경우에는 냉방과 난방에 있어서 약 15%와 25%의 에너지절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단 연구비 지원에 의하여 연구되었음(과제번호 : KRF-2004-003-D00441).

## 참고문헌

1. Han, J.O., 2004.3, The gas cooling market and economical efficiency, The Magazine of the SAREK, Vol. 33, No. 3, pp. 33-36.
2. <http://www.kier.re.kr>
3. <http://www.kitakyu-u.ac.jp/>
4. Danieis, K., 1997, The Technology of Ecological Building, Birkhäuser, pp. 246-248
5. Stocker, W.F. and Jones, J.W., 1982, Refrigeration & Air Conditioning, McGraw-Hill, pp. 88-92.
6. Gengel, Y. and Turner, R.H., 2001, Fundamentals of Thermal-fluids Sciences, McGraw-Hill, pp. 755-759.
7. Holman, J.P., 1986, Heat Transfer, McGraw Hill, pp. 323-341.
8. SAREK, 2004, Fundamental of SAREK, Chapter 1-6.