

# 출구 온도를 고려한 수평형 지중열교환기의 매설 지침에 관한 연구

## A Study on Burial Guideline of Horizontal Geothermal Heat Exchanger based on Exit Temperature

조성우(Sung-Woo Cho)<sup>1</sup>, 임병찬(Pyeong-Chan Ihm)<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 건축공학과, <sup>2</sup>동아대학교 건축공학과

<sup>1</sup>Department of Architectural Engineering, Changwon University, Gyeongnam 641-773, Korea

<sup>2</sup>Department of Architectural Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

(Received August 25, 2014; revision received September 23, 2014; Accepted: September 24, 2014)

**Abstract** Geothermal energy can be used with a geothermal heat pump or an earth-to-air heat exchange system (EAHES), which is referred to as a “cooling tube” in Korea. In this study, we suggest EAHES burial guidelines in terms of the parameters of buried pipe length and air velocity regarding the exit air temperature of EAHES. The exit air temperature for EAHES in three regions (Changwon, Busan and Seoul) was calculated with variation in buried pipe length and air velocity at  $\Phi$  100 mm and  $\Phi$  200 mm. In conclusion, variation in the buried pipe length is more effective than that of air velocity to achieve the required exit air temperature.

**Key words** EAHES(수평형 지중열교환시스템), Exit temperature(출구 온도), Buried pipe length(매설관 길이), Air velocity(유속), Pipe diameter(매설관 관경)

\* Corresponding author, E-mail: [ihmp@dau.ac.kr](mailto:ihmp@dau.ac.kr)

### 기호설명

$A$  : 관표면적 [ $m^2$ ]  
 $C_p$  : 비열 [ $J/kg^\circ C$ ]  
 $d$  : 관직경 [ $m$ ]  
 $h$  : 대류열전달률 [ $W/m^2K$ ]  
 $k$  : 유체열전도율 [ $W/mK$ ]  
 $L$  : 관길이 [ $m$ ]  
 $m$  : 질량유속 [ $kg/s$ ]  
 $Nu$  : Nusselt 수  
 $p$  : 관둘레 [ $m$ ]  
 $Pr$  : Prandtl 수  
 $Re$  : Reynolds 수  
 $T$  : 온도 [ $^\circ C$ ]  
 $V$  : 유속 [ $m/s$ ]

### 그리스 문자

$\nu$  : 동점성 계수(kinetic viscosity) [ $m^2/s$ ]  
 $\mu$  : 동점성 계수(dynamic viscosity) [ $kg/ms$ ]

### 하첨자

$i$  : 유입

$e$  : 출구  
 $f$  : 유체  
 $m$  : 평균  
 $s$  : 표면

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

지열원의 활용은 건물의 냉난방에 사용되는 지열히트펌프시스템과 외기를 냉각시켜 환기에 사용하는 지중열교환시스템으로 대별할 수 있다. 지열히트펌프와의 연계를 통한 연구 결과는 많이 보고되고 있으나, 지중열교환을 통한 환기성능 및 축냉에 이용하는 연구 결과는 많지 않다. 기존의 연구내용을 살펴보면, 국내에서는 지중열교환시스템의 설치에 대하여 관경, 매설깊이, 공기유속 및 배관특성 대하여 시뮬레이션을 수행하여 현장설계에 적합한 방안을 제시하는 논문결과를 발표<sup>(1)</sup>하였다. 또한, 지중열교환시스템을 구조체의 축냉에 이용하여 60.6%의 냉방에너지 소비량을 절감시킬

수 있다는 결과<sup>(2)</sup>를 보였다. 지하피트를 활용하여 냉방한 경우 평균 외기온보다 2°C~4°C 낮은 외기공급이 가능하다는 수치계산 결과를 보고<sup>(3)</sup>하고 있다.

국외는 Thermal Labyrinth이라는 공기통로를 지하에 설치하여 외기와 지중열교환시스템과의 열교환을 통하여 여름철에 외기보다 1°C~8°C 낮은 공기의 공급이 가능하다고<sup>(4)</sup> 보고하고 있다. 그리고 수평형 지중열교환시스템을 돼지축사에 적용시킨 경우 31°C의 외기는 지중 매설관을 통하여 7°C 정도 온도가 하강하여 냉각 효과를 기대할 수 있다는 실측 결과를 보고하고 있다.<sup>(5)</sup>

그러나 적정 출구 온도를 얻기 위해서는 다양한 수식 또는 실험을 통하여 구할 수 있으나, 관경, 길이 및 유속에 따른 출구 온도를 얻기 위한 간편한 지침은 아직 발표되고 있지 않은 시점으로 설계자들이 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 관경, 관길이, 유속을 변수로 하여 냉방 설계기준 온도인 26°C보다 낮은 지중열교환시스템(Earth to Air Heat Exchange System, 이하 EAHES 칭함)의 출구 온도를 간단히 예측할 수 있는 매설지침을 제안하고자 한다.

### 1.2 연구방법

EAHES는 외기보다 낮은 온도의 공기를 실내에 공급하므로 매설깊이, 매설길이, 관경 및 유속에 대한 출구 온도는 중요한 요소이다.

출구 온도는 대류열전달률 즉 유속과 관경 및 매설관의 길이에 영향을 받는다. 따라서 유속과 관경 및 매설관 조건변화에 따른 공기상태 변화를 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 EAHES의 기초적인 매설지침을 제시하기 위한 연구진행방법은 아래와 같이 정리하였다.

- 창원, 부산, 서울에 대한 3 m 깊이의 지중온도와 기상청으로 제공받은 외기온도 및 매설관 표면 온도를 기준으로 출구 온도를 예측함
- EAHES는 장시간 지하에 매설되어 있기 때문에 관의 내표면과 외표면의 온도는 거의 동일함에 따라 관표면을 통한 열전도에 의한 열손실은 무시함
- 관경 100 mm, 200 mm에 대한 다양한 유속(최대 12 m/s가 저속덕트의 기준임)과 매설관의 길이(최대 길이 100 m : 소규모 건축물 적용 고려)에 대한 출구 온도를 제시함

## 2. 분석 방법

### 2.1 출구 온도

매설관에 유입되는 유체온도는 관표면과 대류열전

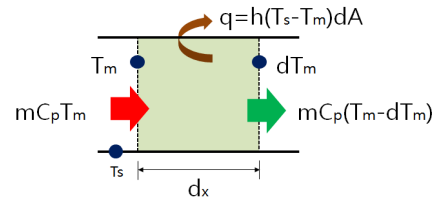


Fig. 1 Schematic diagram of earth to air heat exchange.

달로 인하여 유체온도가 하강(상승)하게 된다. EAHES 내의 열이동은 Fig. 1과 같으며, 장시간 지하에 매립되어 있는 관계로 표면온도는 지중온도와 동일하다고 볼 수 있다.

EAHES를 통과한 대류열손실(q)와 Fig. 1에서 온도 변화에 따른 유체열손실은 같으므로 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$mC_p T_m = h(T_m - T_s)dA + mC_p(T_m - dT_m)$$

$$h(T_m - T_s)dA = mC_p dT_m \tag{1}$$

$$\frac{d(T_s - T_m)}{T_s - T_m} = -\frac{hp}{mC_p} dx$$

여기서  $dA = p dx$

여기서, 표면온도가 일정함에 따라 식(1)에 대한 미분방정식을 풀게 되면 식(2)와 같고, 최종적으로 출구 온도는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln \frac{T_s - T_e}{T_s - T_i} = -\frac{hA}{mC_p} \tag{2}$$

$$T_e = T_s - (T_s - T_i)e^{-hA/mC_p} \tag{3}$$

EAHES의 출구 온도를 예측하기 위해 필요한 대류열전달률(h)은  $Re$ 와  $Pr$ 과의 함수관계로 표현되는  $Nu$ 를 이용하면, 식(4)<sup>(7, 8)</sup>와 같고, 대류열전달률은 식(5)와 같이 나타낼 수가 있다.

$$Nu = 1.86(Re Pr)^{1/3} \left(\frac{d}{L}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w}\right)^{0.14} \tag{4}$$

$$h = \frac{k}{D} Nu \tag{5}$$

### 2.2 지중온도

국내 기상청에서 지하 3 m 깊이까지 지중온도를 제

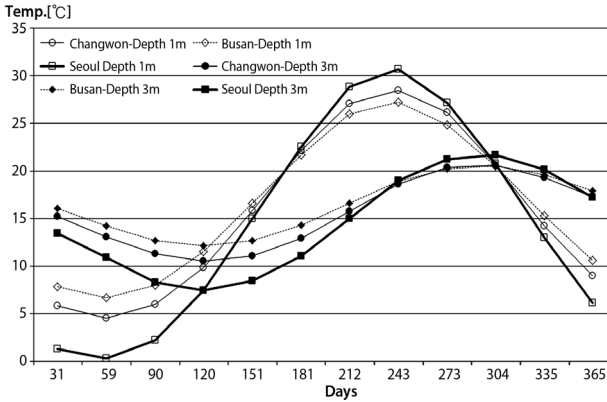


Fig. 2 Annual underground temperature profiles of three cities(Seoul, Changwon and Busan).

공하는 관측 지점은 전체 79지점 중 19.0%에 해당되는 15개 지점으로 조사되었다.<sup>(9)</sup> 이와 같이 기상청에서 지중온도를 제공하지 않는 지역이 많으므로 지중온도는 기 발표된 논문<sup>(6)</sup>의 결과를 활용하여 창원, 부산, 서울 지역에 대한 지중온도를 예측하여 얻은 결과는 Fig. 2와 같다.

연중 지중온도 변화를 나타내는 진폭은 지하 1 m 지점에서는 10.3~15.2°C, 지하 3 m지점은 4.2~7.1°C의 변화를 보인다. Lee et al.<sup>(1)</sup>가 발표한 EAHER의 적정매설깊이는 지하 2~3 m지점이다. 본 연구에서는 매설깊이를 3 m 설정하여 시스템의 설계방안을 제시하였다.

### 3. 분석 및 결과

#### 3.1 출구 온도

대상지역으로 선택한 창원, 부산, 서울에서 냉방기간(6월~9월)동안 지하 3 m지점의 평균 지중 온도는 각각 16.9°C, 17.5°C, 16.6°C로 예측되었다. 기상청에서 제공하는 2011년에서 2013년까지 3년간 연별자료극값의 최고 외기온도를 평균한 값을 출구 온도 계산에 필요한 유입외기온도로 하였다.

##### 3.1.1 창원지역

3년간 연도별 최고기온을 살펴보면 각각 33.7°C, 35.5°C, 37.1°C로 평균 35.4°C로 나타났다. 관경 100 mm, 200 mm에 대하여 유속 및 매설관 길이변화에 따른 출구 온도를 예측하였으며, 그 결과를 Table 1과 Table 2와 같이 나타내었다.

매설길이 100 m일 때, 관경 100 mm인 경우, 외기온도와 EAHER의 출구 온도와의 차이에 대한 범위는 7.7~17.4°C로 유속이 늦을수록 그 차이는 크게 나타났다. 관

Table 1 Exit Temperature for  $\Phi$  100 in Changwon

V(m/s)	L(m)				
	20	40	60	80	100
1	23.9	20.9	19.4	18.5	18
2	26.9	23.9	22.1	20.9	20
3	28.5	25.7	23.9	22.6	21.6
4	29.5	26.9	25.2	23.9	22.9
5	30.2	27.8	26.2	24.9	23.9
6	30.7	28.5	26.9	25.7	24.7
7	31.1	29.1	27.6	26.4	25.4
8	31.4	29.5	28.1	26.9	26
9	31.7	29.9	28.5	27.4	26.5
10	31.9	30.2	28.9	27.8	26.9
11	32.1	30.5	29.2	28.2	27.3
12	32.3	30.7	29.5	28.5	27.7

Table 2 Exit Temperature for  $\Phi$  200 in Changwon

V(m/s)	L(m)				
	20	40	60	80	100
1	29.5	26.9	25.2	23.9	22.9
2	31.4	29.5	28.1	26.9	26
3	32.3	30.7	29.5	28.5	27.7
4	32.8	31.4	30.4	29.5	28.7
5	33.1	31.9	31	30.2	29.5
6	33.4	32.3	31.4	30.7	30.1
7	33.6	32.6	31.8	31.1	30.5
8	33.7	32.8	32	31.4	30.9
9	33.8	33	32.3	31.7	31.2
10	33.9	33.1	32.5	31.9	31.4
11	34	33.3	32.6	32.1	31.6
12	34.1	33.4	32.8	32.3	31.8

경이 200 mm인 경우, 그 차이에 대한 범위는 3.6~12.5°C로 예측할 수 있다.

Table 1에서 관경 100 mm인 경우 26°C 이하의 유출 공기온도는 매설관 길이가 100 m일 때 최대유속은 8 m/s인 것으로 예측할 수 있다.

##### 3.1.2 부산지역

부산지역의 연도별 최고기온을 살펴보면 각각 33.0°C, 34.5°C, 35.0°C로 평균 34.2°C로 나타났다. 관경 100 mm, 200 mm에 대하여 유속 및 매설관 길이 등의 변화에 따른 출구 온도를 예측한 결과는 Table 3, Table 4와 같다.

관경 100 mm인 경우 실내 설정온도인 26°C 이하의 출구 온도는 매설관 길이 100 m, 유속 1 m/s에서는 18.

Table 3 Exit Temperature for  $\Phi$  100 in Busan

V(m/s)	L(m)				
	20	40	60	80	100
1	23.8	21.1	19.7	19	18.5
2	26.6	23.8	22.2	21.1	20.3
3	28	25.5	23.8	22.7	21.8
4	28.9	26.6	25	23.8	22.9
5	29.5	27.4	25.9	24.7	23.8
6	30	28	26.6	25.5	24.6
7	30.3	28.5	27.1	26.1	25.2
8	30.6	28.9	27.6	26.6	25.7
9	30.8	29.2	28	27	26.2
10	31.1	29.5	28.3	27.4	26.6
11	31.2	29.7	28.6	27.7	26.9
12	31.4	30	28.9	28	27.2

Table 5 Exit Temperature for  $\Phi$  100 in Seoul

V(m/s)	L(m)				
	20	40	60	80	100
1	23.5	20.5	19	18.2	17.7
2	26.5	23.5	21.7	20.5	19.7
3	28.1	25.3	23.5	22.3	21.3
4	29.1	26.5	24.8	23.5	22.5
5	29.7	27.4	25.8	24.5	23.5
6	30.2	28.1	26.5	25.3	24.4
7	30.6	28.6	27.1	26	25
8	31	29.1	27.7	26.5	25.6
9	31.2	29.4	28.1	27	26.1
10	31.5	29.7	28.5	27.4	26.5
11	31.6	30	28.8	27.8	26.9
12	31.8	30.2	29.1	28.1	27.3

Table 4 Exit Temperature for  $\Phi$  200 in Busan

V(m/s)	L(m)				
	20	40	60	80	100
1	28.9	26.6	25	23.8	22.9
2	30.6	28.9	27.6	26.6	25.7
3	31.4	30	28.9	28	27.2
4	31.8	30.6	29.7	28.9	28.2
5	32.1	31.1	30.2	29.5	28.9
6	32.4	31.4	30.6	30	29.4
7	32.5	31.6	30.9	30.3	29.8
8	32.7	31.8	31.2	30.6	30.1
9	32.8	32	31.4	30.8	30.4
10	32.9	32.1	31.6	31.1	30.6
11	33	32.3	31.7	31.2	30.8
12	33	32.4	31.8	31.4	31

Table 6 Exit Temperature for  $\Phi$  200 in Seoul

V(m/s)	L(m)				
	20	40	60	80	100
1	29.1	26.5	24.8	23.5	22.5
2	31	29.1	27.7	26.5	25.6
3	31.8	30.2	29.1	28.1	27.3
4	32.3	31	29.9	29.1	28.3
5	32.6	31.5	30.5	29.7	29.1
6	32.9	31.8	31	30.2	29.6
7	33.1	32.1	31.3	30.6	30.1
8	33.2	32.3	31.6	31	30.4
9	33.3	32.5	31.8	31.2	30.7
10	33.4	32.6	32	31.5	31
11	33.5	32.8	32.2	31.6	31.2
12	33.6	32.9	32.3	31.8	31.4

5°C, 8 m/s인 경우 25.7°C이다. 관경 100 mm, 관길이 100 m에서 외기온도와 EAHES의 출구 온도 차이는 7.0~15.7°C이고, 동일한 매설길이이고 관경이 200 mm인 경우에는 그 범위가 3.2~11.3°C로 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다.

관경 100 mm인 경우에는 관길이가 유속에 따라 출구 온도의 차이가 8.7°C이고, 관경 200 mm인 경우에는 그 차이가 8.1°C로 나타났다.

출구 온도는 작은 관경, 느린 유속에서 유체의 대류 열전달률이 낮아짐에 따라 열손실은 감소되어 외기와의 온도 차이는 큰 것으로 나타났다.

### 3.1.3 서울지역

서울지역의 연도별 최고기온을 살펴보면 각각 34.1°C,

36.7°C, 33.9°C로 평균 34.9°C로 나타났다.

앞선 두 지역과 동일한 관경에 대하여 유속 및 매설관 길이 등의 변화에 따른 예측된 출구 온도 결과는 Table 5와 Table 6과 같다. 관경 100 mm에서 26°C 이하 출구 온도는 매설관 길이 100 m, 최대유속은 8 m/s인 경우이며 이는 창원 및 부산지역의 예측결과와 동일하다. 그러나 서울지역은 관경 80 mm, 7 m/s 유속에서도 실내 냉방 설정온도를 만족하는 것으로 예측되었다.

관경 100 mm, 매설길이 100 m인 경우, 외기온도와 EAHES의 출구 온도와의 차이에 대한 범위는 7.6~17.2°C이다. 또한 동일한 매설길이 100 m, 관경이 200 mm인 경우에는 그 범위가 3.5~12.4°C이며, 관경 100 mm인 경우에는 유속의 변화에 따라 출구 온도의 차이가 9.6°C이고, 관경 200 mm인 경우에는 그 차이가 8.9°C로 나타났다.

### 3.2 EAHES 선정

EAHES의 선정은 건축물이 위치하는 지역과 요구되는 환기량 및 출구 온도로 결정될 수 있다. 또한 풍량은 관경과 유속에 의하여 좌우되며, 출구 온도는 관경, 유속 및 매설관의 길이로 결정된다. 여기서, 매설관의 길이와 유속은 각각 초기공사비와 유지관리비에 영향을 미치게 됨에 따라 적절하게 조합하여 선정할 필요가 있다.

EAHES의 변수로는 크게 관경, 매설관길이 및 유속 등으로 나눌 수가 있다. 이 절에서는 효율적인 EAHES의 선정방안을 알아보하고자 3 m지점의 지중온도와 외기 온도에서 차이를 보이는 창원과 부산지역을 대상으로 선정방안을 분석하였다.

Fig. 3은 창원지역에서 관경 100 mm일 경우 매설관 길이 변화에 대한 유속 및 외기와 출구 온도 차이와의 관계를 보여주고 있다.

매설관 길이 20 m에서 유속을 변화시킨 경우, 유속 1 m/s에서는 외기와 출구 온도와의 차이는 11.5℃(출구 온도 23.9℃)를 나타냈다. 12 m/s인 경우 그 차이는 3.1℃로서 출구 온도 32.3℃인 공기가 취출된다.

유속 1 m/s에서 매설관 길이를 변화시킨 경우 20 m일 때, 외기와 출구 온도와의 차이는 11.5℃(출구 온도 23.9℃), 100 m일 때, 그 차이는 17.4℃로서 출구 온도가 18.0℃인 공기가 실내로 취출되는 것으로 예측된다.

부산지역에서 관경 200 mm인 경우 매설관 길이변화에 대한 유속 및 외기와 출구 온도 차이와의 관계를 Fig. 4에 나타내고 있다.

매설관 길이가 20 m인 경우 유속 1 m/s에서 외기와 출구 온도와의 차이는 5.3℃(출구 온도 28.9℃), 12 m/s에서는 그 차이가 1.2℃인 33.0℃인 공기가 실내로 취출된다.

유속 1 m/s에서 매설관 길이를 변화시킨 경우, 20 m일 때, 외기와 출구 온도와의 차이는 5.3℃(출구 온도 28.9℃), 100 m일 때, 그 차이가 11.3℃인 22.9℃인 공기가 실내로 취출된다.

분석결과 적절한 EAHES를 선정하기 위해서는 유속을 고정하고 매설관 길이를 변화시켜 대상실에서 요구되는 적정온도를 계산하는 것이 보다 효율적이라고 판단된다.

매설관을 통과하는 공기온도에 영향을 미치는 대류 열전달률은 동일 유속에 대하여 매설관길이가 증가함에 따라 감소하고, 동일 매설관길이에 대하여 유속이 증감함에 따라 증가하게 된다. 유속에 대하여 매설관 길이와 대류열전달률에 대한 관계는 Fig. 5와 같다.

외기와 EAHES의 출구 온도와의 차이를 크게 하기 위해서는 대류열전달률이 낮은 것이 유리함에 따라 Fig. 5를 이용하여 적정길이와 유속을 선정하여 EAHES의 매설지침으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

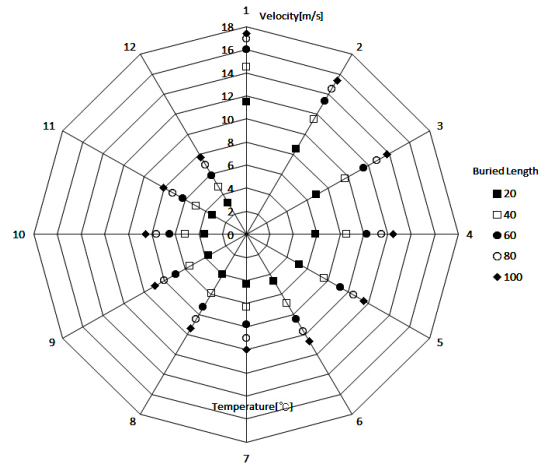


Fig. 3 Difference between outdoor and exit temperature of EAHES with various buried length and velocity for  $\Phi$  100 in Changwon.

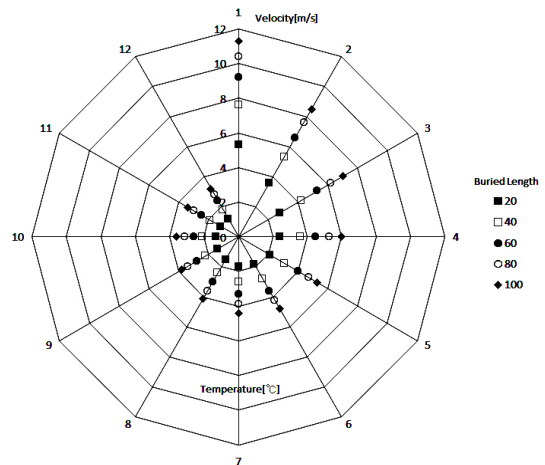


Fig. 4 Difference between outdoor and exit temperature of EAHES with various buried length and velocity for  $\Phi$  200 in Busan.

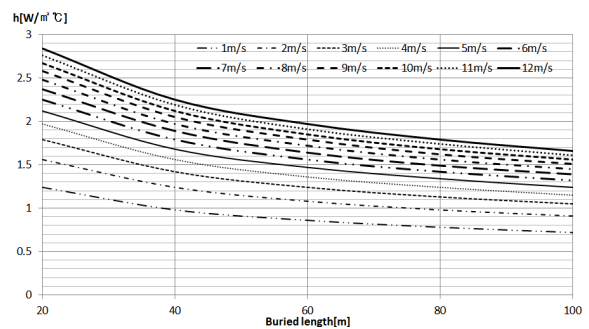


Fig. 5 Relationship between buried length and convective heat transfer coefficient by velocity at  $\Phi$  100 in Changwon.

#### 4. 결 론

수평형 EAHES의 설계방안에 대한 연구 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 출구 온도는 관경이 작고, 유속이 느린 경우에 대류열전달률의 감소로 인하여 외기온도와의 큰 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.
- (2) EAHES을 설치할 경우 초기공사비는 매설관의 길이에 영향을 크게 받으며, 유지관리비는 블로워의 유속에 따라 좌우된다. 따라서 두 요소를 고려하여 시스템을 선정할 필요성이 있을 것으로 판단된다.
- (3) 외기와 EAHES의 출구 온도의 차이는 대류열전달률이 낮아지는 것이 유리하므로, 매설관 길이의 제한이 요구되는 소규모 지역은 유속을 조절하고, 매설규모가 큰 대규모 지역에서는 매설관을 조절하는 것이 유리하다고 할 수 있다.
- (4) 본 논문에서는 온도변화 즉 현열변화에 초점을 맞추었으나, 향후에는 전열량(현열+잠열)에 대하여 연구가 필요할 것을 사료된다.

#### 후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업지원을 받아 수행된 연구의 일부임(2011-0023370).”

#### References

1. Lee, Y. G. and Yoon, J. H., 2001, Optimal system

design method for a building Application of cool tube system, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 17, No. 6, pp. 177-186.

2. Lee, S. B., Kim, G. H., and Lee, M. K., A study on energy savings potential in multi-family residential complex using mass cooling effects, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No. 1, pp. 217-224.

3. Cho, S. W., 2006, The possibility on utilization of underground pit for reduction of cooling and heating Load, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 144-150.

4. Klaus, D., 1994, The technology of ecological building, Birkhäuser Verlag, pp. 248-249.

5. Krommweh, M. S., Rösman, P., and Büscher, W., 2014, Investigation of heating and cooling potential of modular housing system for fattening pigs with integrated geothermal heat exchanger, Biosystems Engineering, Vol. 121, pp. 118-129.

6. Cho, S. W. and Ihm, P. C., 2014, The study on the prediction of underground temperature in Changwon district, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 3, pp. 97-102.

7. Cengel, Y. and Turner, R., Cimbala, J., 2001, Fundamentals of thermal-fluids sciences, McGraw-Hill, pp. 511-512.

8. Holman, J. P., 1986, Heat transfer-sixth edition, McGraw-Hill, pp. 274-275.

9. Annual Climatological Report, 2013, Korea Meteorological Administration.