

## 지열을 이용한 외기부하저감시스템의 외기온도와 출구온도의 상관관계 분석

손 원 득<sup>†</sup>, 박 경 순  
주식회사 이에이엔테크놀로지

### A Study on the Correlation between Outdoor Air and Outlet Air Temperature in a Fresh Air Load Reduction System by Using Geothermal Energy

Won-Tug Son<sup>†</sup>, Kyung-Soon Park  
EAN Technology Co., Ltd., Seoul 135-845, Korea

(Received May 25, 2010; revision received July 27, 2010)

**ABSTRACT:** This paper presents a feasibility study of a fresh air load reduction system by using an underground double floor space. The fresh air is introduced into the double slab space and passes through the opening bored into the footing beam. The air is cooled by the heat exchange with the inside surface of the double slab space in summer, and heated in winter. This system not only reduces sensible heat load of the fresh air by heat exchange with earth but also reduces latent heat load of the fresh air by ad/de-sorption of underground double slab concrete. In this paper, we investigated the correlation between outdoor air temperature and outlet air temperature in the system. In conclusion, from the results of the high correlation we proposed a equation of regression for the outlet air temperature in the system by using linear regression analysis.

**Key words:** Geothermal energy(지열), Correlation(상관관계), Numerical analysis(수치해석)

#### 기 호 설 명

<p><math>c</math> : 비열 [J/m<sup>3</sup> · K]</p> <p><math>c'</math> : 공극율 [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</p> <p><math>H</math> : 피트의 높이 [m]</p> <p><math>P</math> : 포화수증기압 [Pa]</p> <p><math>P_{SV}</math> : 수증기압 [Pa]</p> <p><math>T</math> : 온도 [°C]</p> <p><math>t</math> : 시간 [s]</p> <p><math>V</math> : 풍속 [m/s]</p> <p><math>X</math> : 절대습도 [kg/kg D.A.]</p>	<p><math>x</math> : 길이 [m]</p> <p><math>y</math> : 깊이 [m]</p>
---	---

#### 그리스 문자

<p><math>\alpha</math> : 대류 열전달률 [W/m<sup>2</sup> · K]</p> <p><math>\alpha_r</math> : 실내의 열전달률 [W/m<sup>2</sup> · K]</p> <p><math>\alpha'</math> : 습기전달률 [kg/m<sup>2</sup>h(kg/kg.D.A.)]</p> <p><math>\theta</math> : 함수율 [kg/kg]</p> <p><math>\kappa</math> : <math>\rho_w \partial \Theta / \partial X</math> [kg/m<sup>3</sup>(kg/kg.D.A.)]</p> <p><math>\lambda</math> : 열전도율 [W/m · K]</p> <p><math>\lambda'</math> : 수분확산율 [kg/mh(kg/kg.D.A.)]</p> <p><math>v</math> : <math>\rho_w \partial \Theta / \partial T</math> [kg/m<sup>3</sup>°C]</p> <p><math>\rho</math> : 공기의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]</p> <p><math>\phi</math> : 상대습도 [%]</p>	
---	--

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-2-558-3176; fax: +82-2-558-4151  
E-mail address: sonwt@eantec.co.kr

**하첨자**

- a* : 공기
- c* : 지하피트 콘크리트
- cu, cd* : 지하피트 상부, 하부 콘크리트
- o* : 출구온도
- i* : 외기온도(입구온도)
- s* : 토양

**1. 서론**

친환경 녹색성장과 에너지 절약은 현 국가정책의 최대 주요 관심사라고 해도 과언이 아니다. 에너지의 안정적인 공급 확보, 지구환경문제의 대응 관점에서 자원의 제약이 없고 환경성이 우수한 에너지인 자연에너지의 기술개발 및 보급활성화가 시급한 단계이다.

자연에너지의 에너지 효율적인 측면에서 성능향상을 위한 기술개발도 중요한 과제이나, 보급활성화를 위해서는 자연에너지의 성능에 관한 설계자료의 확보가 우선적으로 해결되어야 할 과제이다. 물론 각종 시뮬레이션이나 수치해석을 통해 이러한 설계자료를 구할 수는 있으나 통상적인 설계기간을 고려할 때 설계실무자의 이러한 접근방식은 결코 용이하지 않은 것이 현실이다.

본 연구에서는 자연에너지와 외기부하를 키워드로 자연에너지의 하나인 지열을 외기의 냉각 및 가열 열원으로 사용하여 외기부하처리용 에너지를 절약할 수 있는 시스템을 대상으로 하였다. 기존의 연구에서는 대상 시스템의 장기간의 실측을 통해 도입 외기의 냉각 및 가열효과를 분석하여 에너지절약효과를 확인하였다. 또한 지열 축열 및 방열량의 계절별 변화에 따른 연주기 시스템 성능변화를 검토한 결과, 본 시스템의 열원으로 사용된 토양은 충분한 열용량을 가지고 연주기로 안정적인 온도변화가 형성되는 것을 확인하였다<sup>(1)</sup>. 또한 본 시스템의 열거동, 에너지 절약 및 환경부하성능을 실측값과의 비교를 통해 그 타당성이 확인된 2차원 단순열 전도 방정식에 의한 수치해석 모델과 HASP/ACLD/ACSS를 사용하여 정량적으로 평가하였다.<sup>(2)</sup>

본 시스템의 잠열처리효과 및 결로발생 여부를 예측하기 위해 토양 내 열수분 동시이동 방정식에 의한 수치해석 모델을 제안하고, 잠열처리효과에 관해서도 정량적으로 분석하였다.<sup>(3)</sup>

본 논문에서는 2차원 열수분 동시이동 방정식에 의한 비선형 수치해석을 통한 결과를 분석하여 풍속과 시스템의 전열면적을 변수로 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 검토하고 출구온도 예측을 위한 회귀식 제안을 목적으로 한다.

**2. 수치해석 모델의 개요**

Fig. 1에 본 시스템의 개념을 나타내었다. 본 시스템은 외기를 공조기 팬에 의해 건물 지하피트에 도입해서, 피트 내부의 지중 벽에 설치되어 있는 개구부를 통해 실내에 취출되며, 외기는 피트 주변의 토양과 열 교환에 의해 하기는 냉각되어지고, 동기에는 가열되어져 외기부하를 감소시키는 것을 기본 개념으로 하고 있다.

본 시스템이 도입되어 있는 실제의 건물의 지하피트 공간에서는 고온 고습의 외기가 도입되는 하기의 경우에도 피트 콘크리트 표면의 결로는 발생하지 않는다는 것을 확인하였다.<sup>(4)</sup> 이와 같은 조건에서는 피트 콘크리트 벽체 내의 함수율이 비교적 낮으며, 그 내부의 수분은 증기확산 지배에 의존한다고 가정 할 수 있다.<sup>(5)</sup> 그리고 증기확산의 상태에서는 열전도에 관한 물성치인 열전도율, 비열 및 흡착열(상태변화열)은 함수율에 의해 그 값이 변화하지만, 결론적으로, 증기확산 지배의 상태에서는 함수율이 낮고 그 변동의 범위가 작기 때문에 일정한 값으로 취급할 수 있다. 단,  $\kappa, \nu$ 의 온도 의존성은 작지 않기 때문에  $\kappa, \nu$ 변동에 관해서는 비선형 방정식을 사용할 필요가 있다.

이하에 본 논문에서 사용한 열 및 수분 동시 이동에 의한 지하 피트 주변 및 토양의 열확산식을 이하에 나타내었다.

- 주변 토양의 열평형 방정식

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

- 피트 콘크리트 벽체 내의 증기확산 방정식

$$(c' \rho'_a + \kappa) \frac{\partial X_c}{\partial t} = \lambda'_c \left( \frac{\partial^2 X_c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 X_c}{\partial y^2} \right) + \nu \frac{\partial T_c}{\partial t} \quad (2)$$

$$(c_c \rho_c + r\nu) \frac{\partial T_c}{\partial t} = \lambda_c \left( \frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_c}{\partial y^2} \right) + r\kappa \frac{\partial X_c}{\partial t} \quad (3)$$

- 피트 내 공기의 열 및 수분 평형 방정식

$$c_a \rho'_a H \frac{\partial T_a}{\partial t} = c_a \rho'_a V H \frac{\partial T_a}{\partial t} + \alpha(T_{cu} - T_a) + \alpha(T_{cd} - T_a) \quad (4)$$

$$\rho'_a H \frac{\partial X_a}{\partial t} = \rho'_a V H \frac{\partial X_a}{\partial t} + \alpha'(X_{cu} - X_a) + \alpha'(X_{cd} - X_a) \quad (5)$$

- 경계조건

$$\alpha(T_a, T_{cu, cd}) = \lambda_{cu, cd} \frac{\partial T_{cu, cd}}{\partial X_{cu, cd}} \quad (6)$$

$$\alpha'(X_a, X_{cu, cd}) = \lambda'_{cu, cd} \frac{\partial X_{cu, cd}}{\partial y} \quad (7)$$

### 3. 시뮬레이션 조건

실제로 도입되어진 시스템을 바탕으로 어스튜브 길이는 200 m로하고 어스튜브 단면은 7 m×1.4 m로 설정하였다. 연주기계산을 위해 서울지역의 표준기상 데이터를 이용하였다. 피트 내의 풍속은 0.5 m/s ~ 2.0 m/s의 범위를 대상으로 검토하였다. Table 1에 계산조건을 나타내었다. 계산법은 시간에 관해서는 전진형 차분법을, 열 및 수분확산에 관해서는 중심형 차분법을, 대류에 관해서는 풍상 차분법을 이용하였다. 계산시간의 간격은 5초로 하였다. κ, ν는 피트 콘크리트 벽체의 평형 함수열 흡수 경계곡선<sup>3)</sup>을 이용하여 계산하였다. Table 2에 계산에 이용된 물성치를 나타내었다.

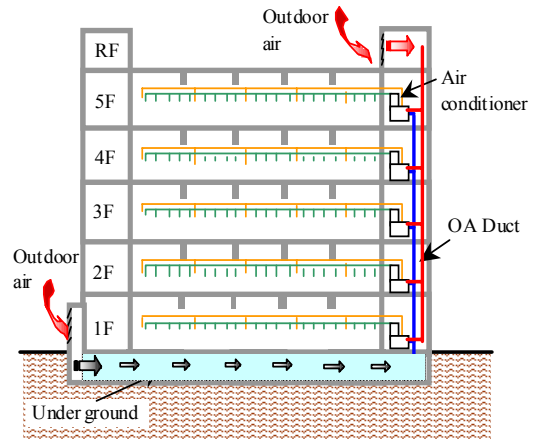


Fig. 1 The scheme of building applied earth tube system.

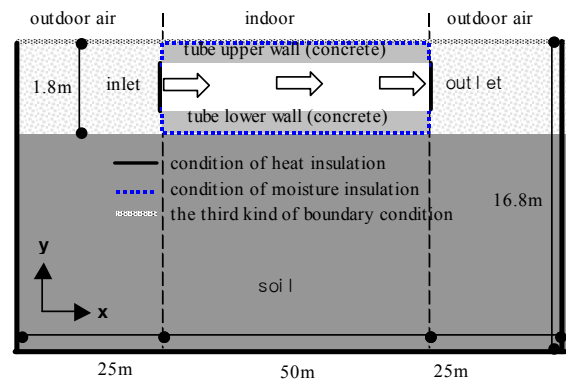


Fig. 2 The schematic of the under floor space and surrounding ground area.

Table 1 The condition of simulation

Geometric Earth tube	Length : 50 m~200 m
Sectional area of Earth tube	Width : 7 m Height : 1.4 m
Air conditioning period	June~September in summer, December~March in winter
Air conditioning schedule	09 : 00~18 : 00 except Sunday and Holiday
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
Operating control	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	air conditioning period : 0.1~2.0 m/s
Disturbance	Outdoor air temperature, solar radiation
Temperature deep in the ground	14.3°C(annual mean outdoor air temperature)
Convective heat transfer coefficient	Underground pit : α = 6.2+4.2 V[W/(m²K)], Indoor : 9.3[W/(m²K)]
Finite-difference scheme	Convection : upwind method, diffusion : central time term : forward

#### 4. 시스템의 외기온도와 출구온도의 상관관계

본 시스템의 출구온도는 매립깊이, 튜브길이(전열면적), 직경 및 상부거실의 온도조건에 따라 달라질 수 있으나, 실제 시공조건을 고려해서 Table 1에 나타난 바와 같이 일반적인 매립깊이와 상부거실의 온도조건을 기준으로 풍속과 튜브길이를 변수로 하여 외기온도와 출구온도의 상관관계를 분석하였다.

##### 4.1 하절기 외기온도와 출구온도의 상관관계

Fig. 4에 튜브길이 50 m에서의 풍속별 하절기의 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 나타내었다. 튜브길이 50 m(유효전열면적 : 700 m<sup>2</sup>)에서는 풍속 0.1~2.0 m/s까지 외기온도와 출구온도의 결정계수는 0.766~0.991로 높게 나타났다.

Fig. 5에 튜브길이 100 m에서의 풍속별 하절기의 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 나타내었다. 튜브길이 100 m(유효전열면적 : 1400 m<sup>2</sup>)에서 풍속 0.1 m/s의 경우 외기온도와 출구온도의 결정계수가 0.385로 낮게 나타났으나, 0.5 m/s~2.0 m/s의 범위에서는 0.834~0.969로 높게 나타났다. 풍속이 0.1 m/s 경우 결정계수가 작게 나타난 것은 풍량(3528 m<sup>3</sup>/h)대비 전열면적이 충분하여 외기온도가 토양온도에 수렴한 것과 6월에 토양온도보다 외기온도가 낮은 경우 외기를 가열하여 외기온도보다 출구온도가 높은 경우가 결과에 반영된 것으로 사료된다.

Table 2 Property used for simulation

$C_s \rho_s$	2800[KJ/(m <sup>3</sup> K)]
$C_c \rho_c$	1900[KJ/(m <sup>3</sup> K)]
$\rho_w$	1000[kg/m <sup>3</sup> ]
$C_a \rho_a$	1.2[KJ/(m <sup>3</sup> K)]
$\lambda_s$	2.9[W/(mK)]
$\lambda_c$	1.5[W/(mK)]
$\lambda'_c$	0.0035[kg/mh(kg/kg.D.A.)]
$r$	2470[KJ/kg]
$c'$	0.05[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
$\alpha_r$	9.3[W/(m <sup>2</sup> K)]
$\alpha$	6.2+4.2V[W/(m <sup>2</sup> K)]
$\alpha'$	$\alpha/c_a$ [kg/m <sup>2</sup> h(kg/kg.D.A.)]

Fig. 6에 튜브길이 150 m에서의 풍속별 하절기의 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 나타내었다. 튜브길이 150 m(유효전열면적 : 2100 m<sup>2</sup>)에서 풍속 0.1 m/s의 경우 출구온도는 하절기 동안 거의 일정한 온도(기간평균온도 : 24.2°C)를 유지하여 결정계수는 매우 낮게 나타났으며, 0.5 m/s에서도 외기온도가 토양온도에 수렴하는 경향이 조금 나타나 결정계수가 0.669로 약간 낮게 나타났다. 1.0 m/s~2.0 m/s의 범위에서는 0.863~0.935로 높게 나타났다.

Fig. 7에 튜브길이 200 m에서의 풍속별 하절기의 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 나타내었다.

튜브길이 200 m(유효전열면적 : 2800 m<sup>2</sup>)에서 풍속 0.1 m/s~0.5의 경우 출구온도는 하절기 동안 거의 일정한 온도(각 풍속에서 기간평균 출구온도 : 24.4°C, 24.2°C)를 유지하여 결정계수는 각각 0.069, 0.497로 매우 낮게 나타났으며, 1.0 m/s~2.0 m/s의 범위에서는 0.775~0.891로 높게 나타났다. Fig. 6~Fig. 8에 나타난 바와 같이. 하절기의 경우 0.1 m/s(3528 m<sup>3</sup>/h) 풍속에서는 튜브길이 100 m(유효전열면적 : 1400 m<sup>2</sup>)에서 0.5 m/s에서는 튜브길이 200 m에서 외기온도가 토양온도에 수렴하는 것으로 나타났다. 이는 각각의 풍량에 대해 충분한 전열면적이 확보되어 외기와 토양이 온도평형상태가 되어, 풍속별 상에서 기술한 유효전열면적 이상은 불필요하다는 것을 의미한다.

한편, 이외 풍속조건 및 튜브길이에서는 외기온도와 출구온도의 상관관계 및 결정계수가 매우 높게 나타났다. 아래에 각 튜브길이에서 본 시스템에 의한 외기온도를 변수로 한 출구온도의 추정식을 나타내었다.

- 튜브길이 50 m에서
  - 0.1 m/s :  $T_o = 0.332 T_i + 15.51 (R^2 = 0.766)$  (8)
  - 0.5 m/s :  $T_o = 0.614 T_i + 8.947 (R^2 = 0.953)$  (9)
  - 1.0 m/s :  $T_o = 0.735 T_i + 5.730 (R^2 = 0.982)$  (10)
  - 2.0 m/s :  $T_o = 0.844 T_i + 3.610 (R^2 = 0.991)$  (11)
- 튜브길이 100 m에서
  - 0.1 m/s :  $T_o = 0.122 T_i + 20.91 (R^2 = 0.385)$  (12)
  - 0.5 m/s :  $T_o = 0.374 T_i + 14.79 (R^2 = 0.834)$  (13)
  - 1.0 m/s :  $T_o = 0.560 T_i + 10.38 (R^2 = 0.935)$  (14)

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.707 T_i + 6.916 (R^2 = 0.969) \quad (15)$$

- 튜브길이 150 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.053 T_i + 22.87 (R^2 = 0.158) \quad (16)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.233 T_i + 18.28 (R^2 = 0.669) \quad (17)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.419 T_i + 13.82 (R^2 = 0.863) \quad (18)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.592 T_i + 9.691 (R^2 = 0.935) \quad (19)$$

- 튜브길이 200 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.027 T_i + 23.70 (R^2 = 0.069) \quad (26)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.151 T_i + 20.37 (R^2 = 0.497) \quad (27)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.317 T_i + 16.33 (R^2 = 0.775) \quad (28)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.497 T_i + 11.99 (R^2 = 0.891) \quad (29)$$

#### 4.2 동절기 외기온도와 출구온도의 상관관계

Fig. 7에 튜브길이 50 m에서의 풍속별 동절기의 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 나타내었다. 튜브길이 50 m(유효전열면적 : 700 m<sup>2</sup>)에서는 풍속 0.1~2.0 m/s까지 외기온도와 출구온도의 결정계수는 0.888~0.994로 높게 나타났다.

Fig. 8에 튜브길이 100 m에서의 풍속별 동절기의 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 나타내었다. 튜브길이 100 m(전열면적 : 1400 m<sup>2</sup>)에서 풍속 0.1 m/s의 경우 외기온도와 출구온도의 결정계수가 0.523로 낮게 나타났으나, 0.5 m/s~2.0 m/s의 범위에서는 0.897~0.975로 높게 나타났다. 풍속이 0.1 m/s 경우 결정계수가 작게 나타난 것은 풍량(3528 m<sup>3</sup>/h)대비 전열면적이 충분하여 외기온도가 토양온도에 수렴한 것으로 사료된다.

Fig. 9에 튜브길이 150 m에서의 풍속별 동절기의 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 나타내었다. 튜브길이 150 m(유효전열면적 : 2100 m<sup>2</sup>)에서 풍속 0.1 m/s의 경우 출구온도는 하절기 동안 거의 일정한 온도(기간평균온도 : 16.5°C)를 유지하여 결정계수(0.183)는 매우 낮게 나타났다. 0.5 m/s~2.0 m/s의 범위에서는 0.776~0.946로 높게 나타났다.

Fig. 10에 튜브길이 200 m에서의 풍속별 동절기의 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 나타내었다. 튜브길이 200 m(유효전열면적 : 2100 m<sup>2</sup>)에서 풍속 0.1 m/s의 경우 출구온도는 하절기 동안

거의 일정한 온도(기간평균온도 : 17.8°C)를 유지하여 결정계수는 매우 낮게 나타났으며, 0.5 m/s에서도 외기온도가 토양온도에 수렴하는 경향이 조금 나타나 결정계수가 0.616로 약간 낮게 나타났다. 1.0 m/s~2.0 m/s의 범위에서는 0.832~0.908로 높게 나타났다.

Fig. 7~Fig. 10에 나타난 바와 같이, 동절기의 경우 0.1 m/s(3528 m<sup>3</sup>/h)풍속에서는 튜브길이 150 m(유효전열면적 : 1400 m<sup>2</sup>)에서 외기온도가 토양온도에 수렴하는 것으로 나타났다. 이는 하절기에 나타난 바와 같이 풍량에 대해 충분한 전열면적이 확보되어 외기와 토양이 온도평형 상태인 것을 의미한다.

한편, 이외 풍속조건 및 튜브길이에서는 외기온도와 출구온도의 상관관계 및 결정계수가 매우 높게 나타났다. 아래에 각 튜브길에서 본 시스템에 의한 외기온도를 변수로 한 출구온도의 회귀식을 나타내었다.

- 튜브길이 50 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.355 T_i + 8.636 (R^2 = 0.888) \quad (30)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.636 T_i + 4.342 (R^2 = 0.975) \quad (31)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.770 T_i + 2.567 (R^2 = 0.989) \quad (32)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.856 T_i + 1.495 (R^2 = 0.994) \quad (33)$$

- 튜브길이 100 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.128 T_i + 13.82 (R^2 = 0.523) \quad (34)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.391 T_i + 8.191 (R^2 = 0.897) \quad (35)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.580 T_i + 5.136 (R^2 = 0.953) \quad (36)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.724 T_i + 3.079 (R^2 = 0.975) \quad (37)$$

- 튜브길이 150 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.058 T_i + 16.46 (R^2 = 0.183) \quad (38)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.243 T_i + 11.09 (R^2 = 0.776) \quad (39)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.437 T_i + 7.357 (R^2 = 0.899) \quad (40)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.612 T_i + 4.552 (R^2 = 0.946) \quad (41)$$

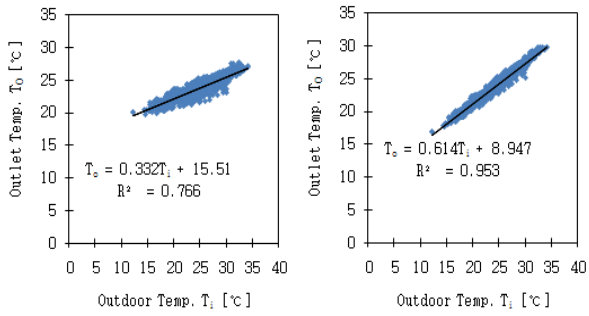
- 튜브길이 200 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.037 T_i + 17.77 (R^2 = 0.081) \quad (42)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.154 T_i + 13.22 (R^2 = 0.616) \quad (43)$$

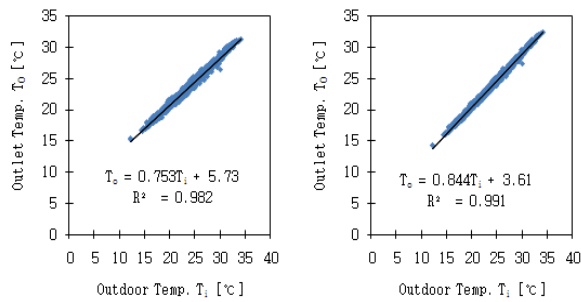
$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.331 T_i + 9.238 (R^2 = 0.832) \quad (44)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.518 T_i + 5.900 (R^2 = 0.908) \quad (45)$$



(a) 0.1 m/s

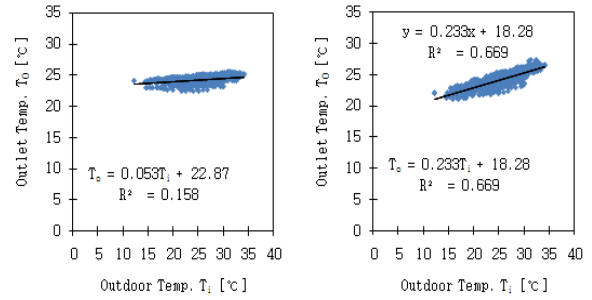
(b) 0.5 m/s



(c) 1.0 m/s

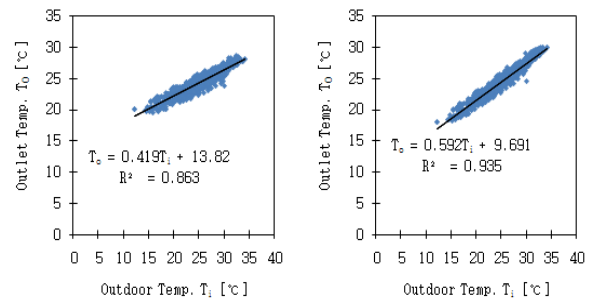
(d) 2.0 m/s

Fig. 3 The correlation of outdoor and outlet air temperature at 50 m in summer.



(a) 0.1 m/s

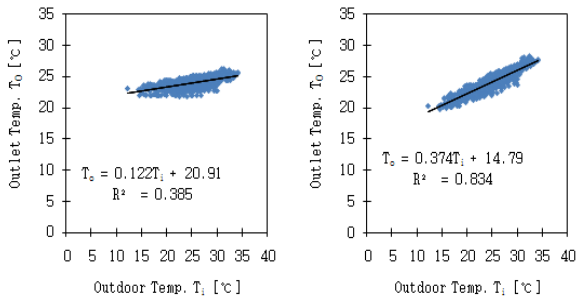
(b) 0.5 m/s



(c) 1.0 m/s

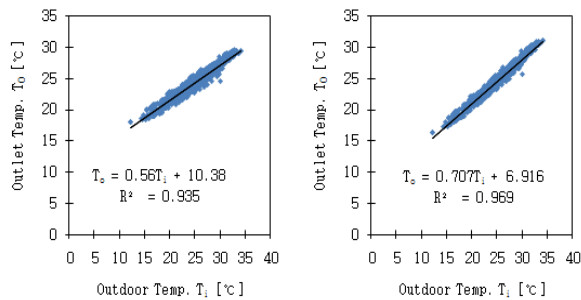
(d) 2.0 m/s

Fig. 5 The correlation of outdoor and outlet air temperature at 150 m in summer.



(a) 0.1 m/s

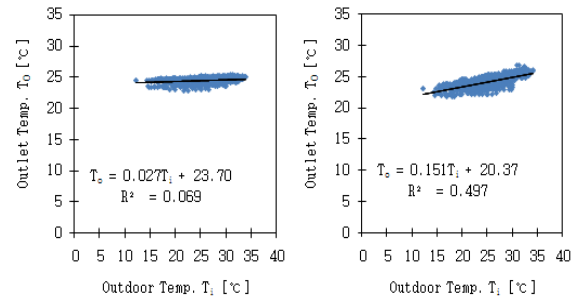
(b) 0.5 m/s



(c) 1.0 m/s

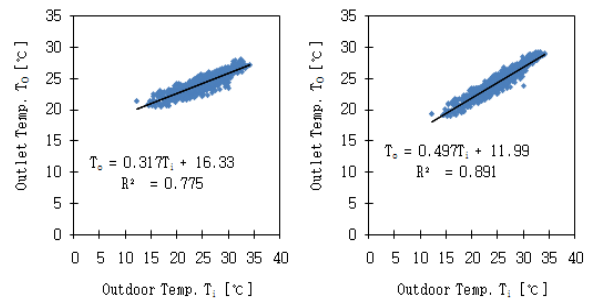
(d) 2.0 m/s

Fig. 4 The correlation of outdoor and outlet air temperature at 100 m in summer.



(a) 0.1 m/s

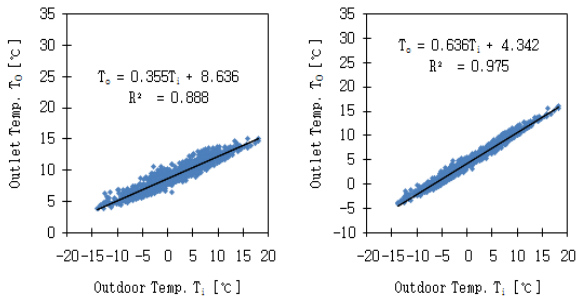
(b) 0.5 m/s



(c) 1.0 m/s

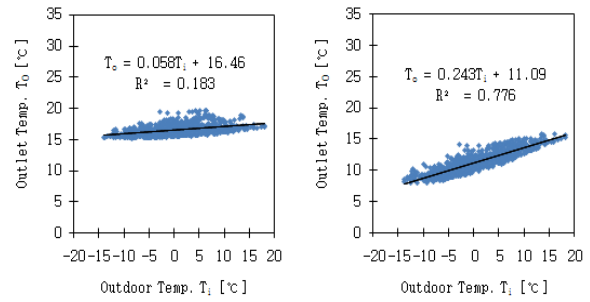
(d) 2.0 m/s

Fig. 6 The correlation of outdoor and outlet air temperature at 200 m in summer.



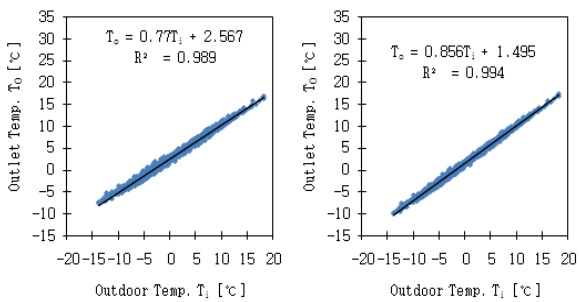
(a) 0.1 m/s

(b) 0.5 m/s

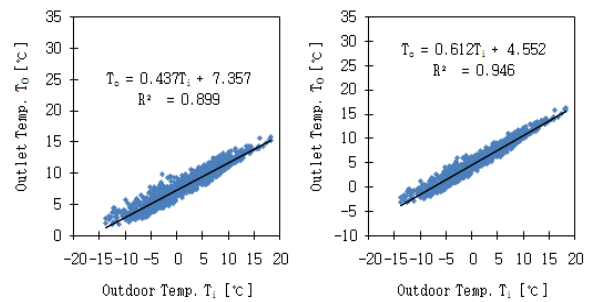


(a) 0.1 m/s

(b) 0.5 m/s



(c) 1.0 m/s (d) 2.0 m/s

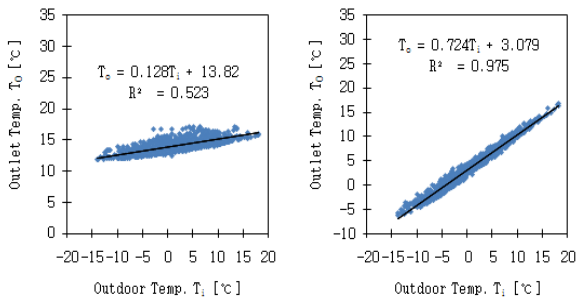


(c) 1.0 m/s

(d) 2.0 m/s

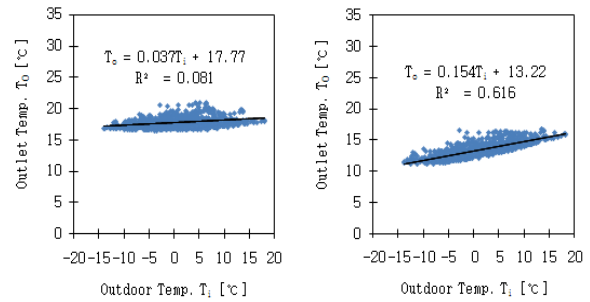
Fig. 7 The correlation of outdoor and outlet air temperature at 50 m in winter.

Fig. 9 The correlation of outdoor and outlet air temperature at 150 m in winter.



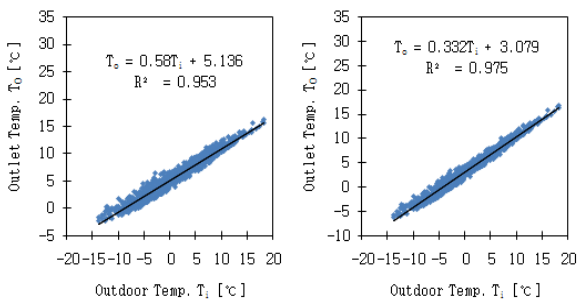
(a) 0.1 m/s

(b) 0.5 m/s



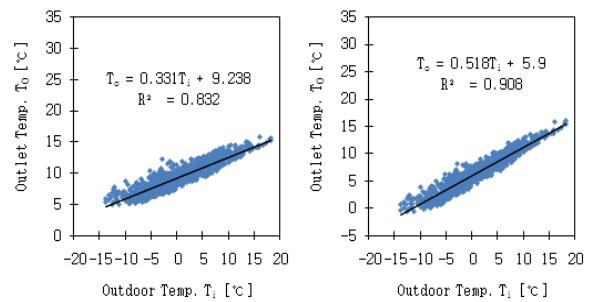
(a) 0.1 m/s

(b) 0.5 m/s



(c) 1.0 m/s

(d) 2.0 m/s



(c) 1.0 m/s

(d) 2.0 m/s

Fig. 8 The correlation of outdoor and outlet air temperature at 100 m in winter.

Fig. 10 The correlation of outdoor and outlet air temperature at 200 m in winter.

## 5. 결 론

본 논문에서는 2차원 열수분 동시이동 방정식에 의한 비선형 수치해석을 통한 결과를 분석하여 풍속과 시스템의 전열면적을 변수로 외기온도와 본 시스템의 출구온도의 상관관계를 검토하였다.

(1) 풍속이 0.1 m/s로 낮고 튜브길이가 100 m 이상인 경우는 외기온도와 출구온도의 상관관계는 하절기의 경우  $R^2$ 는 0.069~0.385로 나타났으며, 동절기의 경우  $R^2$ 는 0.081~0.523으로 매우 낮게 나타났다. 이는 풍속 0.1 m/s에 상당하는 풍량에 대해 토양과 열교환 할 수 있는 충분한 전열면적이 확보되어 외기온도가 토양온도에 수렴했기 때문이다.

(2) 풍속이 0.5 m/s~2.0 m/s의 범위에서는 하절기의 경우  $R^2$ 는 0.497~0.991로 나타났으며, 동절기의 경우  $R^2$ 는 0.616~0.994로 나타났다. 튜브길이가 가장 긴 200 m에서 0.5 m/s의 풍속인 경우에 상관관계가 약간 낮게 나타났으나, 이 경우를 제외하면 외기온도와 출구온도의 상관관계는 대체로 높게 나타났다.

이상의 결과로부터 외기온도가 토양온도에 수렴하는 경우를 제외한다면 회귀식을 이용한 본 시스템의 출구온도 예측이 가능할 것으로 사료된다.

향후 연구에서는 본 논문에서 제안한 회귀식을 사용하여 본 시스템의 냉각 및 가열효과 예측이 가능한 간이 추정식을 제안하고자 한다.

## 참고문헌

1. Son, W. T., Tanaka, H., Nagai, H., Okumiya, M. and Nakahara, N., 2002, A study on fresh air load reduction system by using heat exchange with earth, Transactions of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of JAPAN, Vol. 87, pp. 69-77.
2. Son, W. T., Tanaka, H. and Okumiya, M., 2003, Study on fresh air load reduction system by air-to-earth heat exchange using underground double floor space, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 41-48.
3. Son, W. T. and Nagai, H., 2004, Reducing Effect of Fresh Air Latent Heat Load in Air to Earth Heat Exchange using Underground Double Floor Space, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 253-258.
4. Son, W. T., Nagai, H. and Okumiya, M., 1999, Part 7: The examination condensation in the earth-tube, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of JAPAN, pp. 437-438.
5. Hokoi, S., Matsumoto, M. and Niwa, K., 1997. An analysis of stochastic properties of indoor air temperature, humidity and heating load of building intermittently air-conditioned. Minutes and Proceeding of W40 Meeting in Kyoto, Japan, pp. 364-373.