

지열을 이용한 외기부하저감시스템의 냉각 및 가열효과 예측을 위한 간이추정법에 관한 연구

손 원 득[†], 박 경 순
주식회사 이에이엔테크놀로지

A Study on the Simplified Presumption Method for the Prediction of Cooling and Heating Performance in a Fresh Air Load Reduction System by Using Geothermal Energy

Won-Tug Son[†], Kyung-Soon Park
EAN Technology Co., Ltd., Seoul 135-845, Korea

(Received April 19, 2010; revision received June 1, 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 proposed a simplified presumption method for the prediction of cooling and heating performance in the system. In conclusion the proposed method has been verified by comparing with the calculated value of the numerical analysis model by using nonlinear two-dimension hygroscopic question.

Key words : Geothermal energy(지열), Simplified presumption method(간이추정법), Numerical analysis(수치해석), Fresh air load(외기부하)

기 호 설 명

T : 온도 [°C]
 V : 풍속 [m/s]

하첨자

o : 출구온도
 i : 외기온도(입구온도)

1. 서 론

본 연구에서는 자연에너지와 외기부하를 키워드로 자연에너지의 하나인 지열을 외기의 냉각 및 가열 열원으로 사용하여 외기부하처리용 에너지를 절약할 수 있는 시스템을 대상으로 하였다⁽¹⁻³⁾. 제1보에서는 실측값과의 비교를 통해 그 타당성이 확인된 2차원 열수분동시 이동방정식에 의한 수치해석모델⁽⁴⁾을 이용하여 본 시스템의 출구온도와 외기온도의 상관관계를 검토하여 풍속별 튜브길이별 회귀식을 제안하였다.

본 연구에서는 제1보에서 제시한 풍속별, 튜브길

[†] Corresponding author
Tel.: +82-2-558-3176; fax: +82-2-558-4151
E-mail address: sonwt@eantec.co.kr

이별 회귀식을 이용하여 본 시스템의 냉각 및 가열 효과를 예측하기 위한 간이추정식을 제안하고 2차원 열수분 동시이동 방정식에 의한 비선형 수치해석을 통한 결과와 비교를 통해 그 타당성 확인을 목적으로 한다.

2. 외기온도와 출구온도의 회귀식

제1보에서 외기온도와 본시스템에 의한 출구온도의 상관관계를 나타낸 회귀식을 아래에 나타내었다.

2.1 하절기의 상관관계

- 튜브길이 50 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.332 T_i + 15.51 (R^2 = 0.766) \quad (1)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.614 T_i + 8.947 (R^2 = 0.953) \quad (2)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.735 T_i + 5.730 (R^2 = 0.982) \quad (3)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.844 T_i + 3.610 (R^2 = 0.991) \quad (4)$$

- 튜브길이 100 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.122 T_i + 20.91 (R^2 = 0.385) \quad (5)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.374 T_i + 14.79 (R^2 = 0.834) \quad (6)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.560 T_i + 10.38 (R^2 = 0.935) \quad (7)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.707 T_i + 6.916 (R^2 = 0.969) \quad (8)$$

- 튜브길이 150 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.053 T_i + 22.87 (R^2 = 0.158) \quad (9)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.233 T_i + 18.28 (R^2 = 0.669) \quad (10)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.419 T_i + 13.82 (R^2 = 0.863) \quad (11)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.592 T_i + 9.691 (R^2 = 0.935) \quad (12)$$

- 튜브길이 200 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.027 T_i + 23.70 (R^2 = 0.069) \quad (13)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.151 T_i + 20.37 (R^2 = 0.497) \quad (14)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.317 T_i + 16.33 (R^2 = 0.775) \quad (15)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.497 T_i + 11.99 (R^2 = 0.891) \quad (16)$$

2.2 동절기의 상관관계

- 튜브길이 50 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.355 T_i + 8.636 (R^2 = 0.888) \quad (17)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.636 T_i + 4.342 (R^2 = 0.975) \quad (18)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.770 T_i + 2.567 (R^2 = 0.989) \quad (19)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.856 T_i + 1.495 (R^2 = 0.994) \quad (20)$$

- 튜브길이 100 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.128 T_i + 13.82 (R^2 = 0.523) \quad (21)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.391 T_i + 8.191 (R^2 = 0.897) \quad (22)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.580 T_i + 5.136 (R^2 = 0.953) \quad (23)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.724 T_i + 3.079 (R^2 = 0.975) \quad (24)$$

- 튜브길이 150 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.058 T_i + 16.46 (R^2 = 0.183) \quad (25)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.243 T_i + 11.09 (R^2 = 0.776) \quad (26)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.437 T_i + 7.357 (R^2 = 0.899) \quad (27)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.612 T_i + 4.552 (R^2 = 0.946) \quad (28)$$

- 튜브길이 200 m에서

$$0.1 \text{ m/s} : T_o = 0.037 T_i + 17.77 (R^2 = 0.081) \quad (29)$$

$$0.5 \text{ m/s} : T_o = 0.154 T_i + 13.22 (R^2 = 0.616) \quad (30)$$

$$1.0 \text{ m/s} : T_o = 0.331 T_i + 9.238 (R^2 = 0.832) \quad (31)$$

$$2.0 \text{ m/s} : T_o = 0.518 T_i + 5.900 (R^2 = 0.908) \quad (32)$$

3. 출구온도 예측을 위한 간이 추정식

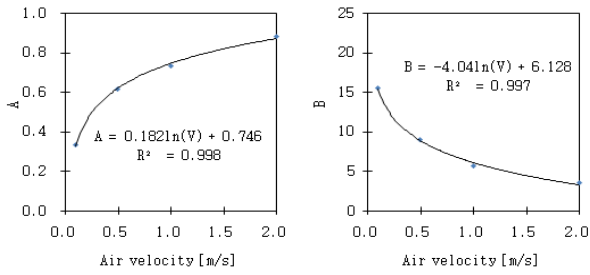
위에서 언급한 바와 같이 각 튜브길이 및 풍속별로 외기온도와 출구온도의 상관관계는 아래에 나타낸 바와 같이 1차 함수로 나타낼 수 있다.

$$T_o = A T_i + B \quad (33)$$

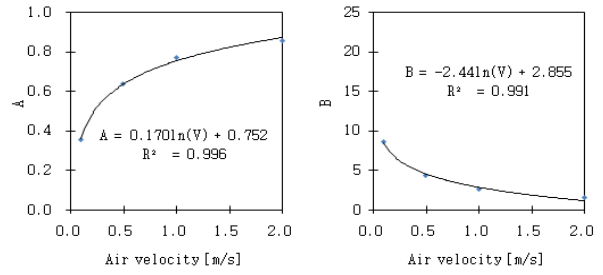
위의 식에서 풍속증가하면 기울기 A는 증가하고 절편 B는 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 각 튜브길이별 기울기 A, 절편 B와 풍속과의 관계를 분석한 결과를 Fig. 1~Fig. 2에 나타내었다.

단, 풍속이 0.1 m/s의 경우 튜브길이 150 m 이상에서 외기온도와 출구온도의 상관관계가 매우 낮게 나타났으므로 계산범위에서 제외하였다.

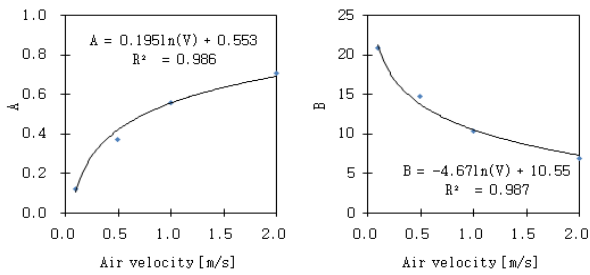
그림에 나타낸 바와 같이 기울기 A와 풍속과의 상관관계는 0.929이상으로 높게 나타났으며 절편 B와 풍속과의 상관관계도 0.895이상으로 높게 나타났다. 추정식의 결정계수도 0.986이상으로 높게 나



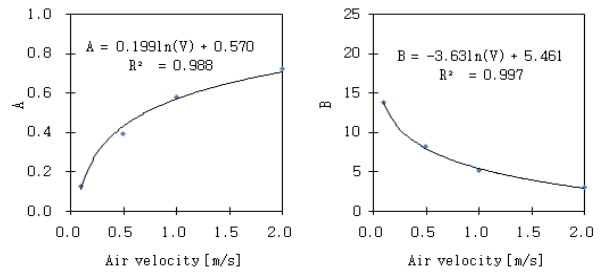
(a) Lenth of tube at 50 m



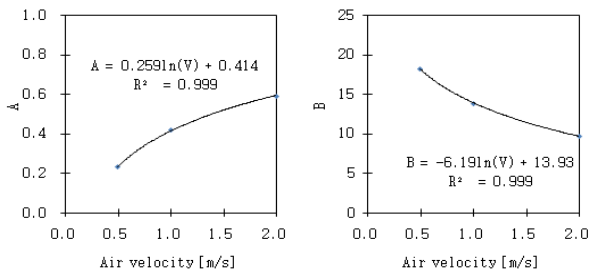
(a) Lenth of tube at 50 m



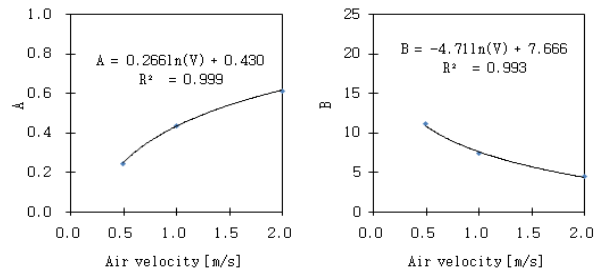
(b) Lenth of tube at 100 m



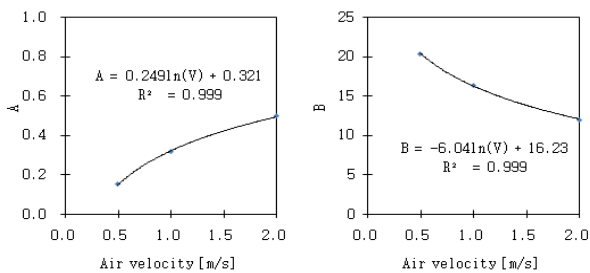
(b) Lenth of tube at 100 m



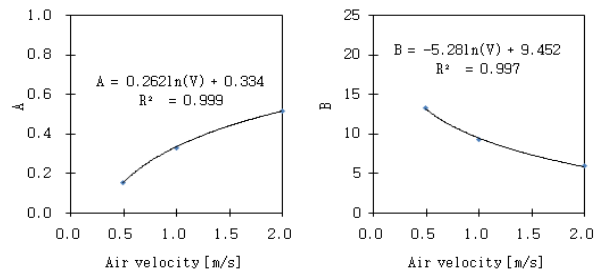
(c) Lenth of tube at 150 m



(c) Lenth of tube at 150 m



(d) Lenth of tube at 200 m



(d) Lenth of tube at 200 m

Fig. 1 Slope(A) and Intercept(B) according to change of velocity in summer.

Fig. 2 Slope(A) and Intercept(B) according to change of velocity in winter.

타났다.

하절기 출구온도 간이추정식을 식(34)~식(37)까지 나타내었다.

튜브길이 50 m에서 출구온도 추정식 :

$$T_o = A_{50} T_i + B_{50} \quad (34)$$

$$A_{50} = 0.1821 \ln(V) + 0.746 (R^2 = 0.998)$$

$$B_{50} = -4.041 \ln(V) + 6.128 (R^2 = 0.997)$$

튜브길이 100 m에서 출구온도 추정식 :

$$T_o = A_{100} T_i + B_{100} \quad (35)$$

$$A_{100} = 0.195\ln(V) + 0.553 (R^2 = 0.986)$$

$$B_{100} = -4.671\ln(V) + 10.55 (R^2 = 0.987)$$

튜브길이 150 m에서 출구온도 추정식 :

$$T_o = A_{150}T_i + B_{150} \quad (\text{단, } V > 0.1 \text{ m/s}) \quad (36)$$

$$A_{150} = 0.259\ln(V) + 0.414 (R^2 = 0.999)$$

$$B_{150} = -6.19\ln(V) + 13.93 (R^2 = 0.999)$$

튜브길이 200 m에서 출구온도 추정식 :

$$T_o = A_{200}T_i + B_{200} \quad (\text{단, } V > 0.1 \text{ m/s}) \quad (37)$$

$$A_{200} = 0.249\ln(V) + 0.321 (R^2 = 0.999)$$

$$B_{150} = -6.04\ln(V) + 16.23 (R^2 = 0.999)$$

동절기 출구온도 간이추정식을 식(38)~식(41)까지 나타내었다.

튜브길이 50 m에서 출구온도 추정식 :

$$T_o = A_{50}T_i + B_{50} \quad (38)$$

$$A_{50} = 0.170\ln(V) + 0.752 (R^2 = 0.996)$$

$$B_{50} = -2.44\ln(V) + 2.855 (R^2 = 0.991)$$

튜브길이 100 m에서 출구온도 추정식 :

$$T_o = A_{100}T_i + B_{100} \quad (39)$$

$$A_{100} = 0.199\ln(V) + 0.570 (R^2 = 0.988)$$

$$B_{100} = -3.63\ln(V) + 5.461 (R^2 = 0.997)$$

튜브길이 150 m에서 출구온도 추정식 :

$$T_o = A_{150}T_i + B_{150} \quad (\text{단, } V > 0.1 \text{ m/s}) \quad (40)$$

$$A_{150} = 0.266\ln(V) + 0.430 (R^2 = 0.999)$$

$$B_{150} = -4.71\ln(V) + 7.666 (R^2 = 0.993)$$

튜브길이 200 m에서 출구온도 추정식 :

$$T_o = A_{200}T_i + B_{200} \quad (\text{단, } V > 0.1 \text{ m/s}) \quad (41)$$

$$A_{200} = 0.262\ln(V) + 0.334 (R^2 = 0.999)$$

$$B_{150} = -5.28\ln(V) + 9.452 (R^2 = 0.997)$$

4. 수치해석과 추정식의 오차

실측값과의 비교를 통해 모델의 타당성이 확인된 열수분동시이동 방정식에 의한 2차원 수치해석⁽²⁾에 의한 계산값과 위에서 기술한 간이추정식에 의한 계산값과의 오차를 Fig. 3~Fig.6에 나타내었다.

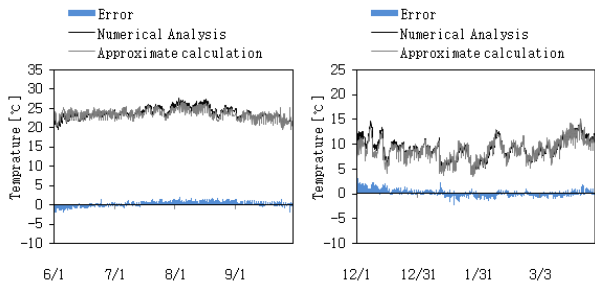
Fig. 3에 나타낸 바와 같이 튜브길이 50 m에서 하절기 동안의 각 풍속별 평균 오차범위는 0.43~0.60으로 나타났으며, 표준편차는 0.27~0.42로 나타났다. 최대오차는 풍속 0.1 m/s일 때 2.14, 0.5 m/s일 때 2.49, 1.0 m/s일 때 2.14, 2.0 m/s일 때 2.18로 나타났다. 동절기 동안의 각 풍속별 평균오차범위는 0.37~0.56로 나타났으며, 표준편차는 0.32~0.47로 나타났다. 최대오차는 풍속 0.1 m/s일 때 3.11, 0.5 m/s일 때 2.08, 1.0 m/s일 때 1.68, 2.0 m/s일 때 1.88로 나타났다. 튜브길이 50 m에서는 온도변화 경향이나 출구온도가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 튜브길이 100 m에서 하절기 동안의 각 풍속별 평균 오차범위는 0.40~0.53로 나타났으며, 표준편차는 0.28~0.39로 나타났다. 최대오차는 풍속 0.1 m/s일 때 2.11, 0.5 m/s일 때 2.69, 1.0 m/s일 때 2.54, 2.0 m/s일 때 2.34로 나타났다. 동절기 동안의 각 풍속별 평균 오차범위는 0.31~0.54로 나타났으며, 표준편차는 0.41~0.73로 나타났다. 최대오차는 풍속 0.1 m/s일 때 3.27, 0.5 m/s일 때 3.73, 1.0 m/s일 때 2.55, 2.0 m/s일 때 2.43로 나타났다.

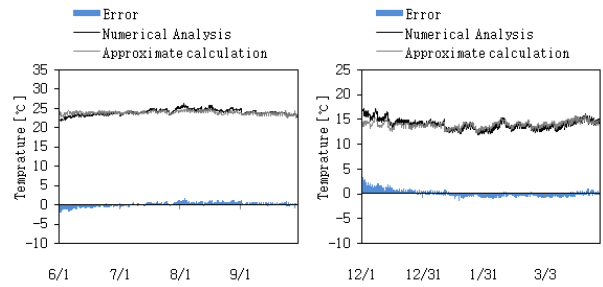
튜브길이 100 m에서는 풍속 0.1 m/s에서 약간의 오차는 있었으나 온도변화 경향이나 출구온도가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

Fig. 5에 나타낸 바와 같이 튜브길이 150 m에서 하절기 동안의 각 풍속별 평균 오차범위는 0.50~0.92로 나타났으며, 표준편차는 0.37~0.71로 나타났다. 최대오차는 풍속 0.1 m/s일 때 3.20, 0.5 m/s일 때 2.19, 1.0 m/s일 때 2.57, 2.0 m/s일 때 3.61로 나타났다. 동절기 동안의 각 풍속별 평균오차범위는 0.29~1.93로 나타났으며, 표준편차는 0.49~1.23로 나타났다. 최대오차는 풍속 0.1 m/s일 때 5.74, 0.5 m/s일 때 3.93, 1.0 m/s일 때 3.28, 2.0 m/s일 때 3.29로 나타났다.

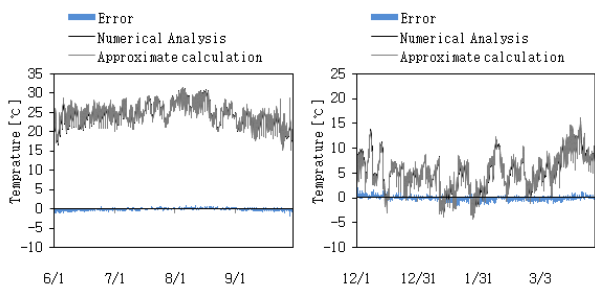
풍속이 0.1 m/s 경우 평균 오차범위, 표준편차 및 최대오차가 크게 나타난 것은 위에서 언급한 바와 같이 열교환할 대상 풍량이 작아 외기온도가 토양 온도에 수렴하여 외기온도와 출구온도의 상관관계



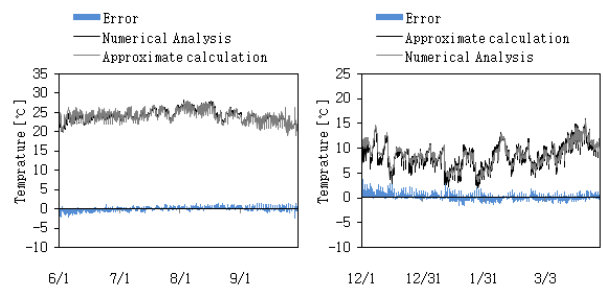
(a) summer(0.1 m/s) (b) winter(0.1 m/s)



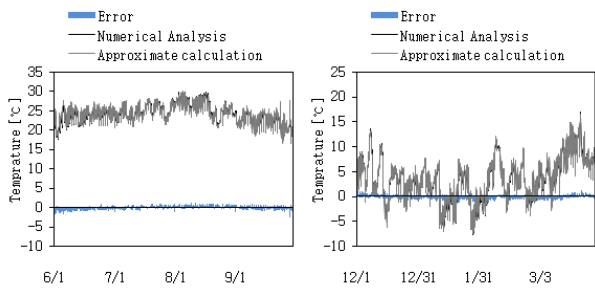
(a) summer(0.1 m/s) (b) winter(0.1 m/s)



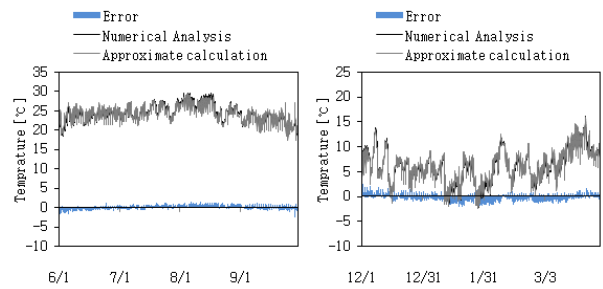
(c) summer(0.5 m/s) (d) winter(0.5 m/s)



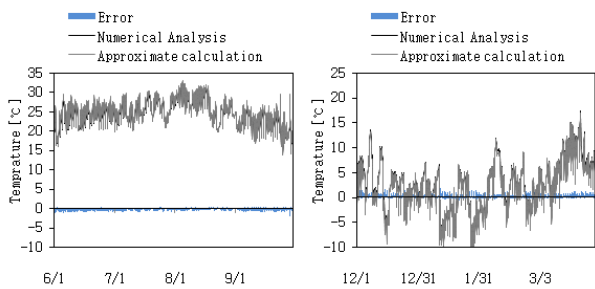
(c) summer(0.5 m/s) (d) winter(0.5 m/s)



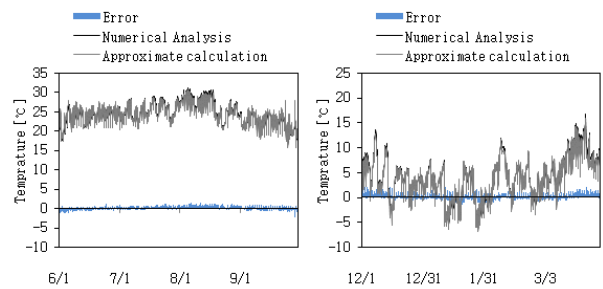
(e) summer(1.0 m/s) (f) winter(1.0 m/s)



(e) summer(1.0 m/s) (f) winter(1.0 m/s)



(g) summer(2.0 m/s) (h) winter(2.0 m/s)



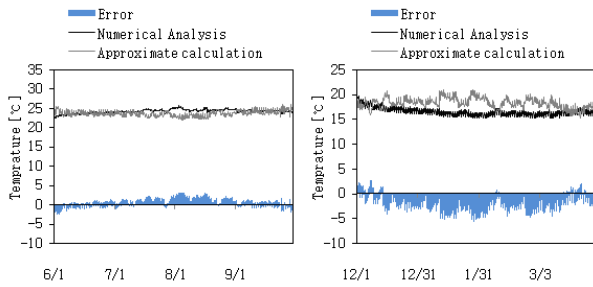
(g) summer(2.0 m/s) (h) winter(2.0 m/s)

Fig. 3 the error of numerical analysis and approximate calculation at 50 m per each velocity.

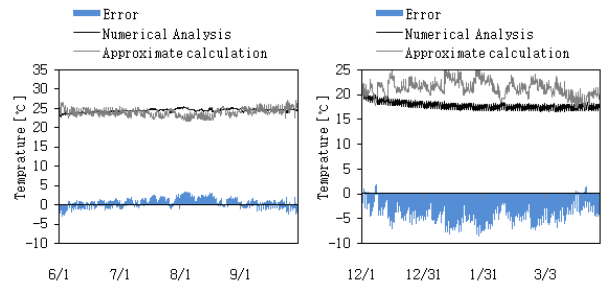
Fig. 4 the error of numerical analysis and approximate calculation at 100 m per each velocity.

가 낮아졌기 때문으로 사료된다. 튜브길이 150 m에서는 풍속 0.1 m/s의 경우를 제외하면 온도변화 경향이나 출구온도가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

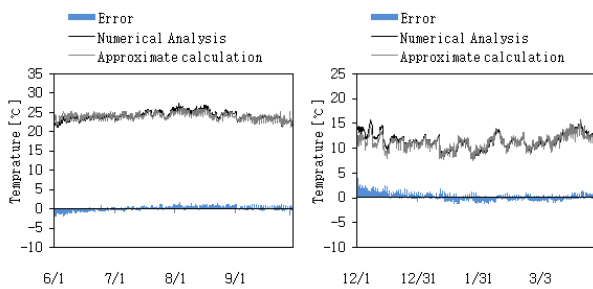
Fig. 6에 나타낸 바와 같이 튜브길이 200 m에서 하절기 동안의 각 풍속별 평균 오차범위는 0.47~1.02로 나타났으며, 표준편차는 0.35~0.75로 나타났다. 최대오차는 풍속 0.1 m/s일 때 3.47, 0.5 m/s일



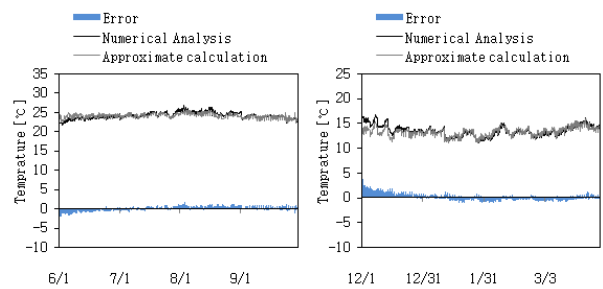
(a) summer(0.1 m/s) (b) winter(0.1 m/s)



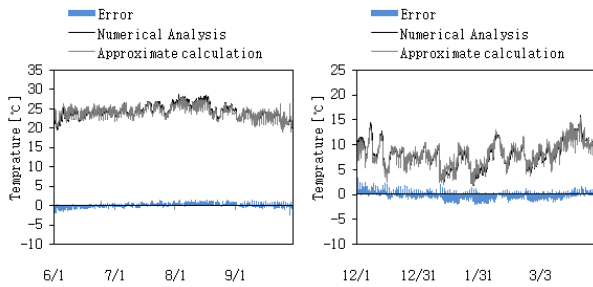
(a) summer(0.1 m/s) (b) winter(0.1 m/s)



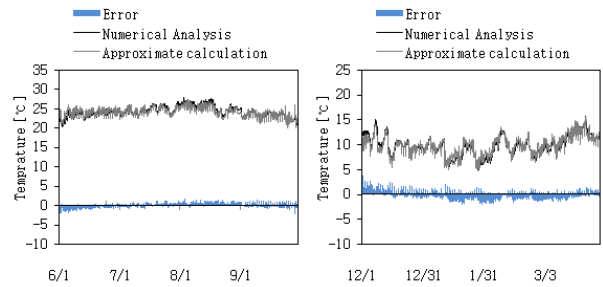
(c) summer(0.5 m/s) (d) winter(0.5 m/s)



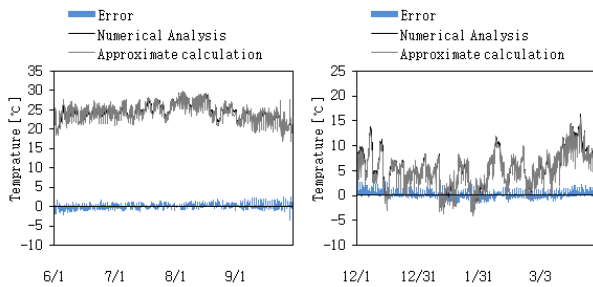
(c) summer(0.5 m/s) (d) winter(0.5 m/s)



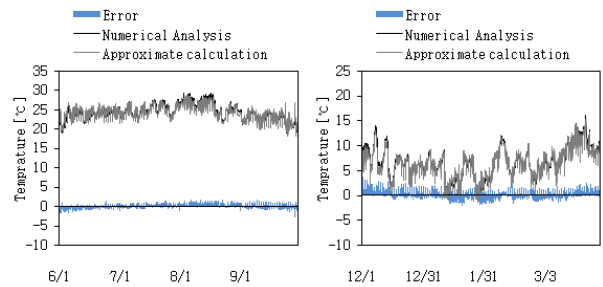
(e) summer(1.0 m/s) (f) winter(1.0 m/s)



(e) summer(1.0 m/s) (f) winter(1.0 m/s)



(g) summer(2.0 m/s) (h) winter(2.0 m/s)



(g) summer(2.0 m/s) (h) winter(2.0 m/s)

Fig. 5 The error of numerical analysis and approximate calculation at 150 m per each velocity

Fig. 6 The error of numerical analysis and approximate calculation at 200 m per each velocity

때 2.13, 1.0 m/s일 때 2.39, 2.0 m/s일 때 3.01로 나타났다. 동절기 동안의 각 풍속별 평균 오차범위는 0.22~3.47로 나타났으며, 표준편차는 0.47~1.79로 나타났다. 최대오차는 풍속 0.1 m/s일 때 8.59, 0.5

m/s일 때 3.82, 1.0 m/s일 때 3.73, 2.0 m/s일 때 3.78로 나타났다.

튜브길이 200에서도 150 m에서 나타난 바와 같이 풍속 0.1 m/s의 경우 오차가 크게 나타났으나,

이 외 풍속에서는 온도변화 경향이나 출구온도가 비교적 잘 일치 하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 지열을 이용한 외기부하 저감시스템의 냉각 및 가열효과를 추정하기 위한 간이추정식을 제안하고 2차원 열수분 동시이동 방정식에 의한 비선형 수치해석 모델의 계산값과의 비교를 통해 그 타당성을 확인하였다.

본 연구에서 제안한 간이추정식의 결과를 간략히 정리하면 아래와 같다.

(1) 풍속이 낮은 경우(0.1 m/s)를 제외하면 간이추정식에 의한 본 시스템의 출구온도 계산값은 타당성이 확인된 정밀 수치해석 모델에 의한 결과와 약간의 오차는 있으나 대체로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

(2) 간이추정식에 출구온도 예측값은 외기온도 변화에 따른 출구온도 일변화 및 연중변화 경향도 잘 일치하는 것으로 나타났다.

따라서 계산시간 및 작업의 간략화를 고려한다면 실무에서 본 시스템의 설계시 적정 풍속 및 튜브길이의 선정과 냉각 및 가열효과의 추정을 위한 간이추정식으로 유효하게 활용될 것으로 사료된다.

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., 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.
4. 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.