



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년08월26일  
(11) 등록번호 10-1547123  
(24) 등록일자 2015년08월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 19/00 (2011.01)

(21) 출원번호 10-2014-0034854

(22) 출원일자 2014년03월25일

심사청구일자 2014년03월25일

(56) 선행기술조사문헌

논문1

논문2

논문3

논문4

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자

이승래

대전 유성구 대학로 291

고규현

대전 유성구 대학로 291

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

양성보

전체 청구항 수 : 총 8 항

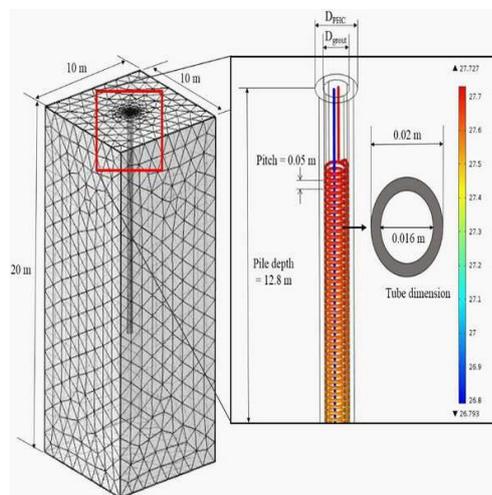
심사관 : 구대성

(54) 발명의 명칭 코일형 PHC 에너지 파일 보어홀 열 저항 산정 모델

(57) 요약

코일형 PHC 에너지 파일 보어홀 열 저항 산정 모델이 개시된다. 코일형 에너지 파일(coil energy pile)의 3차원 형상을 고려하여 회귀분석을 위한 독립 변수를 선정하는 단계; 및 상기 독립 변수를 이용하여 상기 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항(borehole thermal resistance)을 산정하기 위한 다중 선형 회귀식을 정의하는 단계를 포함하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법을 제공한다.

대표도



(72) 발명자

**윤석**

대전광역시 서구 월평동

**김민준**

부산 부산진구 백양대로208번길 38-25(개금동, 우성아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 11기술혁신E04

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 건설기술혁신사업

연구과제명 지중 열에너지 전환·활용·저장시스템 설계 및 성능평가기술 개발

기여율 1/1

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2011.07.20 ~ 2014.05.19

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

코일형 에너지 파일(coil energy pile)의 3차원 형상을 고려하여 회귀분석을 위한 독립 변수를 선정하는 단계; 및

상기 독립 변수를 이용하여 상기 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항(borehole thermal resistance)을 산정하기 위한 다중 선형 회귀식을 정의하는 단계

를 포함하고,

코일의 반경과 피치, 에너지 파일의 반경, 파이프의 반경, 토양의 열전도도, 및 그라우트의 열전도도 중 적어도 하나로 이루어진 인자를 상기 독립 변수로 선정하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법.

**청구항 2**

제1항에 있어서,

상기 코일형 에너지 파일의 열적 거동을 해석하기 위한 유한요소모델을 바탕으로 CFD(computational fluid dynamics) 해석과 연계하여 파이프라인의 열 전달에 대한 수치해석을 수행하는 것

을 특징으로 하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법.

**청구항 3**

코일형 에너지 파일(coil energy pile)의 3차원 형상을 고려하여 회귀분석을 위한 독립 변수를 선정하는 단계; 및

상기 독립 변수를 이용하여 상기 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항(borehole thermal resistance)을 산정하기 위한 다중 선형 회귀식을 정의하는 단계

를 포함하고,

상기 코일형 에너지 파일의 열적 거동을 분석하기 위한 수치해석모델의 지배 방정식은 코일형 열교환기 내부 순환수에 의한 대류 및 전도와 그라우트(grout) 및 PHC 말뚝과 지반 매질에 의한 열 전도를 포함하며,

지반의 열 전도에 의한 수치모델의 지배 방정식은 수학식 1과 같이 정의되고,

대류 및 전도에 의한 수치모델의 지배 방정식은 수학식 2와 같이 정의되는 것

을 특징으로 하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법.

수학식 1:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q$$

(여기서,  $\rho$ 는 밀도,  $C_p$ 는 비열, T는 지반의 온도,  $\lambda$ 는 매질의 열전도도, Q는 매질 내부로부터의 열 발생을 의미한다.)

수학식 2:

$$\rho A C_p u \cdot \nabla T_f = \nabla \cdot (\lambda_f A_p \nabla T_f) + f_D \frac{\rho}{2d_h} |u|^3 + Q + Q_{wall}$$

(여기서,  $\rho$ 는 밀도, A는 파이프 단면적,  $C_p$ 는 비열,  $u$ 는 점선 속도,  $T_f$ 는 순환수 온도,  $\lambda_f$ 는 순환수

의 열전도도,  $f_D$  는 무차원 마찰계수를 의미하고,  $\frac{1}{2} f_D \frac{\rho A_p}{2d_h} |u|u^2$  항은 점성에 의한 열 손실을 의미하며, 이때  $d_h$  는 평균 수리학적 지름으로서  $d_h = 4AZ$  (A는 파이프 단면적, z는 윤변 길이)로 정의되고,  $Q_{wall}$  은 파이프 벽면에서의 열 교환에 의해 발생하는 열원을 의미한다.)

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

코일형 에너지 파일(coil energy pile)의 3차원 형상을 고려하여 회귀분석을 위한 독립 변수를 선정하는 단계; 및

상기 독립 변수를 이용하여 상기 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항(borehole thermal resistance)을 산정하기 위한 다중 선형 회귀식을 정의하는 단계

를 포함하고,

(코일의 반경/에너지 파일의 반경), (코일의 피치/코일의 반경), 토양의 열전도도, 그라우트의 열전도도, (1/토양의 열전도도), (1/그라우트의 열전도도)를 상기 독립 변수로 선정하는 것

을 특징으로 하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 독립 변수는 VIF(variance inflation factor) 값이 임계치 이하이고 상호 간에 상관관계가 없는 인자들로 구성되는 것

을 특징으로 하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법.

**청구항 8**

코일형 에너지 파일(coil energy pile)의 3차원 형상을 고려하여 회귀분석을 위한 독립 변수를 선정하는 단계; 및

상기 독립 변수를 이용하여 상기 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항(borehole thermal resistance)을 산정하기 위한 다중 선형 회귀식을 정의하는 단계

를 포함하고,

역수변환을 통해 상기 독립 변수가 선형성(linearity)을 가지도록 하고 변수변환이 이루어진 새로운 독립 변수를 가지고 다중 선형 회귀분석을 수행하는 것

을 특징으로 하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법.

**청구항 9**

코일형 에너지 파일(coil energy pile)의 3차원 형상을 고려하여 회귀분석을 위한 독립 변수를 선정하는 단계; 및

상기 독립 변수를 이용하여 상기 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항(borehole thermal resistance)을 산정하

기 위한 다중 선형 회귀식을 정의하는 단계

를 포함하고,

상기 다중 선형 회귀식에 상기 독립 변수의 수와 데이터 수를 고려한 수정 결정계수를 적용하는 것을 특징으로 하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 수정 결정계수는 수학적 식 3과 같이 정의되는 것

을 특징으로 하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법.

수학적 식 3:

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - p - 1}$$

(여기서,  $R^2_{adj}$  는 수정 결정계수,  $R^2$  는 결정계수,  $n$ 은 데이터 수,  $p$ 는 독립 변수의 수를 의미한다.)

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명의 실시예들은 코일형 에너지 파일(energy pile)의 보어홀 열 저항(borehole thermal resistance)을 산정할 수 있는 모델에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 최근 전 세계적으로 신재생에너지 활용에 대한 관심이 높아지면서, 지열 에너지를 이용한 냉난방 시스템에 대한 연구가 증가하고 있다.

[0003] 한국공개특허 제10-2000-0063299호(공개일 2000년 11월 06일) "지열을 이용한 냉난방 열교환 시스템"에는 실린더 형태의 열교환기를 이용하여 일정한 온도의 지하 열을 지상으로 효과적으로 끌어올려 냉난방을 하는 기술이 개시되어 있다.

[0004] 지열 냉난방 시스템을 위한 에너지 파일의 설계에 있어서 보어홀 열 저항은 가장 중요한 설계인자 중 하나라고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 코일형 에너지 파일의 경우, 보어홀 열 저항을 산정하는 것이 매우 어렵고, 지금까지 이를 산정하기 위한 연구 사례도 없는 실정이다. 왜냐하면, 기존 다양한 해석 모델들은 열교환기 형태가 실린더일 경우에만 열 저항 산정이 가능하기 때문이다.

[0005] Shonder and Beck, Gu and O'Neal, Remund, Bennet and Claesson, Hellstrom 등의 연구자들이 제시한 이론 모델들은 공통적으로 열원을 일정한 반경을 가지는 실린더 형태로 가정한 후, 정상 상태에서 열 저항값을 도출한다. 하지만, 코일형 열교환기의 경우 열원을 2차 평면상에 실린더 형태로 표현하기 불가능하기 때문에 기존의 이론모델로서는 코일형 에너지 파일의 열 저항을 산정할 수 없다. 게다가, 코일형 열교환기의 열 확산 거동은 라인형 열교환기보다 복잡하여 코일의 3차원 형상을 고려해야만 한다. 따라서, 지열 시공자들이 코일형 열교환기 설계 시 해석 모델을 근간으로 한 기존 설계프로그램을 사용하는 것이 무리가 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 발명에서는 영향 인자를 고려한 다양한 매개변수 해석을 실시하여 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항을 산정할 수 있는 모델을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

[0007] 코일형 에너지 파일(coil energy pile)의 3차원 형상을 고려하여 회귀분석을 위한 독립 변수를 선정하는 단계; 및 상기 독립 변수를 이용하여 상기 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항(borehole thermal resistance)을 산정하기 위한 다중 선형 회귀식을 정의하는 단계를 포함하는 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법을 제공한다.

[0008] 일 측면에 따르면, 상기 코일형 에너지 파일의 열적 거동을 해석하기 위한 유한요소모델을 바탕으로 CFD(computational fluid dynamics) 해석과 연계하여 파이프라인의 열 전달에 대한 수치해석을 수행할 수 있다.

[0009] 다른 측면에 따르면, 상기 코일형 에너지 파일의 열적 거동을 분석하기 위한 수치해석모델의 지배 방정식은 코일형 열교환기 내부 순환수에 의한 대류 및 전도와 그라우트(grout) 및 PHC 말뚝과 지반 매질에 의한 열 전도를 포함할 수 있다.

[0010] 또 다른 측면에 따르면, 지반의 열 전도에 의한 수치모델의 지배 방정식은 수학적 1과 같이 정의되고, 대류 및 전도에 의한 수치모델의 지배 방정식은 수학적 2와 같이 정의될 수 있다.

[0011] 수학적 1:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q$$

[0012]

[0013] (여기서,  $\rho$ 는 밀도,  $C_p$ 는 비열, T는 지반의 온도,  $\lambda$ 는 매질의 열전도도,  $Q$ 는 매질 내부로부터의 열 발생을 의미한다.)

[0014] 수학적 2:

$$\rho A C_p u \cdot \nabla T_f = \nabla \cdot (\lambda_f A_p \nabla T_f) + f_D \frac{\rho}{2d_h} |u|^3 + Q + Q_{wall}$$

[0015]

[0016] (여기서,  $\rho$ 는 밀도, A는 파이프 단면적,  $C_p$ 는 비열,  $u$ 는 점선 속도,  $T_f$ 는 순환수 온도,  $\lambda_f$ 는 순환수

의 열전도도,  $f_D$ 는 무차원 마찰계수를 의미하고,  $\frac{1}{2} f_D \frac{\rho A_p}{2d_h} |u|^2$  항은 점성에 의한 열 손실을 의미

하며, 이때  $d_h$ 는 평균 수리학적 지름으로서  $d_h = 4AZ$  (A는 파이프 단면적, z는 윤변 길이)로 정의되고,

$Q_{wall}$ 은 파이프 벽면에서의 열 교환에 의해 발생하는 열원을 의미한다.)

[0017] 또 다른 측면에 따르면, 코일의 반경과 피치, 에너지 파일의 반경, 파이프의 반경, 토양의 열전도도, 및 그라우트의 열전도도 중 적어도 하나로 이루어진 인자를 상기 독립 변수로 선정할 수 있다.

[0018] 또 다른 측면에 따르면, (코일의 반경/에너지 파일의 반경), (코일의 피치/코일의 반경), 토양의 열전도도, 그라우트의 열전도도, (1/토양의 열전도도), (1/그라우트의 열전도도)를 상기 독립 변수로 선정할 수 있다.

[0019] 또 다른 측면에 따르면, 상기 독립 변수는 VIF(variance inflation factor) 값이 임계치 이하이고 상호 간에 상관관계가 없는 인자들로 구성될 수 있다.

[0020] 또 다른 측면에 따르면, 역수변환을 통해 상기 독립 변수가 선형성(linearity)을 가지도록 하고 변수변환이 이루어진 새로운 독립 변수를 가지고 다중 선형 회귀분석을 수행할 수 있다.

[0021] 또 다른 측면에 따르면, 상기 다중 선형 회귀식에 상기 독립 변수의 수와 데이터 수를 고려한 수정 결정계수를 적용할 수 있다.

[0022] 또 다른 측면에 따르면, 상기 수정 결정계수는 수학적 3과 같이 정의될 수 있다.

[0023] 수학적식 3:

$${}_{adj}R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - p - 1}$$

[0024]

[0025] (여기서,  ${}_{adj}R^2$  는 수정 결정계수,  $R^2$  는 결정계수,  $n$  은 데이터 수,  $p$  는 독립 변수의 수를 의미한다.)

**발명의 효과**

[0026] 본 발명의 실시예에 따르면, 코일의 3차원 형상을 고려한 다양한 매개변수 해석을 실시하여 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항을 산정할 수 있는 다중선형회귀식을 제시함으로써 코일형 에너지 파일의 열 저항 산정 모델을 제공할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 코일형 에너지 파일의 열 거동 해석을 위한 유한요소모델을 설명하기 위한 예시 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항 산정 방법을 도시한 순서도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0028] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0029] 본 실시예들은 기존 라인형에 적용되는 모델이 아닌, 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항을 산정할 수 있는 모델에 관한 것으로, 이는 지열 냉난방 시스템의 에너지 파일 설계에 적용될 수 있다.

[0030] 본 발명에서는 코일형 열교환기가 설치된 에너지 파일의 열적 거동을 분석하기 위해 COMSOL Multiphysics4.3b를 이용한 수치해석 모델을 제안한다. 상용 프로그램인 COMSOL Multiphysics4.3b은 유한요소해석 알고리즘을 바탕으로 파이프라인의 열 전달을 CFD(computational fluid dynamics) 해석과 연계해서 해석을 수행한다.

[0031] 본 발명에서 제안하는 수치해석모델의 지배방정식은 열 교환기 내부 순환수에 의한 대류 및 전도와 그라우트 및 PHC 말뚝, 지반 매질에 의한 열 전도를 포함하고 있다.

[0032] 지반에서의 열 전달은 크게 전도(conduction), 복사(radiation), 그리고 대류(convection)의 형태로 이루어진다. 이 중 열전도는 물질 내 인접하는 분자들 사이의 온도경사에 의해 발생하는 열 이동 메커니즘이며, 항상 온도가 높은 영역에서 낮은 영역으로 이동하되, 두 영역의 온도가 평형상태에 도달할 때까지 진행된다. 열 전도는 두께가 1m인 평판에 1Kelvin의 열이 가해졌을 때 전달되는 열의 양을 Watt로 측정하여 나타내고 단위는 W/mK로 표현될 수 있다. 한편, 지하수의 흐름이 없거나 투수계수가 매우 낮은 지반의 경우, 대류 또는 이류의 영향은 미미한 것으로 고려할 수 있다.

[0033] 따라서, 본 발명에서 지반의 열 전달은 전도의 형태로 유발된다고 가정하였으며 이는 수학적식 1의 전도 방정식으로 표현될 수 있다.

[0034] [수학적식 1]

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q$$

[0035]

[0036] 여기서,  $\rho$  는 밀도,  $C_p$  는 비열,  $T$  는 지반의 온도,  $\lambda$  는 매질의 열전도도,  $Q$  는 매질 내부로부터의 열 발생을 의미한다.

[0037] 대류 및 전도에 의한 수치모델의 지배 방정식은 수학적식 2와 같다.

[0038] [수학식 2]

$$\rho A C_p u \cdot \nabla T_f = \nabla \cdot (\lambda_f A_p \nabla T_f) + f_D \frac{\rho}{2d_h} |u|^3 + Q + Q_{wall}$$

[0039]

[0040] 여기서,  $Q_{wall}$  은 파이프 벽면에서의 열 교환에 의해 발생하는 열원을 나타내며, 이는 수학식 3과 같이 정의될 수 있다.

[0041] [수학식 3]

$$Q_{wall} = (hZ)_{eff} (T_{ext} - T_f) \quad (W / m)$$

[0042]

[0043] 파이프 단면이 원형일 경우, 유효  $hZ$  는 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[0044] [수학식 4]

$$(hZ)_{eff} = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_0 h_{int}} + \frac{1}{r_N h_{ext}} + \sum_{n=1}^N \left( \frac{\ln \frac{r_n}{r_{n-1}}}{\lambda_n} \right)}$$

[0045]

[0046] 수학식 3에서  $T_{ext}$  는 파이프 외부 영역에서의 온도,  $T_f$  는 순환수 온도를 의미한다. 또한,  $\lambda_n$  과  $r_n$  은 각각 n번째 벽면의 열전도도와 바깥쪽 반경을 나타내고,  $h_{int}$  와  $h_{ext}$  는 파이프 안쪽과 바깥쪽의 필름 열전달 계수를 나타낸다.

[0047] 수학식 2에서  $\frac{1}{2} f_D \frac{\rho A_p}{2d_h} |u|u^2$  항은 점성에 의한 열 손실을 의미하며,  $d_h$  는 평균 수리학적 지름으로서  $d_h = 4AZ$  (여기서, A는 파이프 단면적, z는 윤변 길이를 의미한다.)로 표현할 수 있다. 또한,  $f_D$  는

Darcy의 무차원 마찰계수,  $u$  는 점선 속도,  $\lambda_f$  는 순환수의 열전도도를 나타낸다.

[0048] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 코일형 열교환기가 설치된 에너지 파이프의 열응답시험에 사용된 유한요소 모델을 설명하기 위한 예시 도면이다. 이때, 유한요소모델의 규격은 가로/세로/높이가 각각 10m/10m/20m이며, 자유 사면체(Free tetrahedral) 격자를 사용한다.

[0049] 도 1의 유한요소모델을 이용한 코일형 에너지 파이프의 보어홀 열 저항 산정 방법은 다음과 같다.

[0050] 도 2를 참조하면, 먼저 코일형 에너지 파이프의 보어홀 열 저항 산정 모델은 코일형 에너지 파이프의 3차원 형상을 고려하여 회귀분석을 위한 독립 변수를 선정한 후(S1), 독립 변수 간의 상관관계 분석을 통해 코일형 에너지 파이프의 보어홀 열 저항을 산정하기 위한 다중 선형 회귀식을 정의할 수 있다(S2).

[0051] 보다 상세하게는, 코일형 에너지 파이프의 열 저항을 산정하는 다중 회귀식을 제안하기 위해 여러 가지 영향 인자들을 고려하여 표 1과 같이 독립 변수들을 선정할 수 있다.

[0052] [표 1]

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$y$
$\frac{r_c}{r_b}$	$\frac{pitch}{r_c}$	$\lambda_{soil}$	$\lambda_{grout}$	$R_{b,eff}$
$X_1 = x_1$	$X_2 = x_2$	$X_3 = \frac{1}{x_3}$	$X_4 = \frac{1}{x_4}$	$Y = y$
$\frac{r_c}{r_b}$	$\frac{pitch}{r_c}$	$\frac{1}{\lambda_{soil}}$	$\frac{1}{\lambda_{grout}}$	$R_{b,eff}$

$r_c$  : coil radius,  $r_b$  : pile radius,  $r_p$  : pipe radius,  
 $\lambda_{soil}$  : soil thermal conductivity,  $\lambda_{grout}$  : grout thermal conductivity,  
 $x, X$  : independent variable,  $y, Y$  : dependent variable

[0053]

[0054] 변수들간의 대략적인 관계를 알아보기 위해 행렬 모의(matrix plot)를 한 결과, 이상치(outlier)는 발견되지 않았지만, 독립변수  $x_3$  와  $x_4$  는 종속변수  $y$  와 비선형적(nonlinearity)인 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

[0055] 따라서,  $x_3$  와  $x_4$  는 역수 변환을 통해 선형성(Linearity)을 가지도록 하고, 변수변환이 이루어진 새로운 독립변수  $X$  를 가지고 다중 선형 회귀분석(Multiple Linear Regression Analysis)을 실시한다.

[0056] 표 2는 다중 선형 회귀분석 결과를 나타낸 것이다.

[0057] [표 2]

	$B$	$\beta$	$VIF$
<i>constant</i>	.181		
$X_1$	-.252	-.350***	1.300
$X_2$	.039	.261***	1.299
$X_3$	.010	.086***	1.000
$X_4$	.032	.797***	1.004
$adj R^2$	.905		
$F$	226.158		

\*\*\*  $p < 0.01$ ,  $B$  : non-standardized coefficient ,  
 $\beta$  : standardized coefficient ,  $VIF$  : variance inflation factor

[0058]

[0059] 일반적으로 중요한 독립변수가 빠져있을 경우 종속변수에 자기상관이 존재하게 되며, DW(Durbin-Watson) 지수가  $1.4 \leq DW \leq 2.6$  을 만족하면 자기상관이 없이 독립이라고 판단하는데, 분석결과 DW 지수가 2.475로서 종속변수의 자기 상관은 없는 것으로 확인되었다.

[0060] 독립변수들의 P 값은 0.05보다 작게 나타나  $X_1, X_2, X_3, X_4$  모두  $Y$  에 유의한 영향을 주게 된다.

또한, 각각의 독립변수들의 VIF(variance inflation factor) 값이 임계치(예컨대, 10) 이하로서 독립변수들 사이에 다중 공선성이 발견되지 않았으며, 이는 독립변수들간의 상관관계가 없다는 것을 보여준다.

[0061] 분석 결과  $X_1 ( B = -0.252 )$  이 작을수록, 그리고  $X_2 ( B = 0.039 )$ ,  $X_3 ( B = 0.010 )$ ,  $X_4 ( B = 0.032 )$  이 높을수록  $Y$  가 높아지는 것으로 나타났다.

[0062] 이들 변수가  $Y$  를 설명하는 설명력의 정도는 90.5이며  $X_4 ( \beta = 0.797 )$  가  $Y$  에 가장 큰 영향을 주었고,  $X_3 ( \beta = 0.086 )$  가  $Y$  에 가장 미미한 영향을 주었다.

[0063] 즉, 에너지 파일의 유효 열 저항에 가장 큰 영향을 주는 인자는 그라우트의 열전도도이며, 그 다음으로는 말뚝의 크기, 코일 피치 간격, 토양의 열전도도 순으로 영향을 주는 것으로 나타났다.

[0064] 일반적으로, 데이터 수와 독립변수 수를 늘리면 자연적으로 결정계수( $R^2$ ) 값이 증가하게 되는데, 이를 개선하기 위해서 다중회귀분석에서는 독립변수의 수와 데이터 수를 고려한 수정 결정계수를 사용한다.

[0065] 독립변수의 수와 데이터 수를 고려한 수정 결정계수는 수학적 식 5와 같이 정의될 수 있다.

[0066] [수학적 식 5]

$$adj R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - p - 1}$$

[0067] 여기서,  $n$ 은 데이터 수,  $p$ 는 독립변수의 수를 의미한다. 회귀분석 결과 나타난 수정 결정계수 ( $adj R^2$ )는 0.905로서 비교적 높은 정확도를 보였다.

[0069] 따라서, 본 발명에서 제안한 회귀식이 데이터를 합리적으로 설명한다고 판단할 수 있으며, 코일형 에너지파일의 핵심적 설계인자인 보어홀 열 저항 결정에 있어서 적용성이 높을 것으로 사료된다.

[0070] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따르면, 코일의 3차원 형상을 고려한 다양한 매개변수 해석을 실시하여 코일형 에너지 파일의 보어홀 열 저항을 산정할 수 있는 다중선형회귀식을 제시함으로써 코일형 에너지 파일의 열 저항 산정 모델을 제공할 수 있다. 따라서, 지열 냉난방 시스템 에너지 파일 설계 등의 분야에 적용되어 코일형 열 교환기가 설치된 에너지 파일 설계에 직접적으로 적용될 수 있다.

[0071] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0072] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상

장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0073]

실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0074]

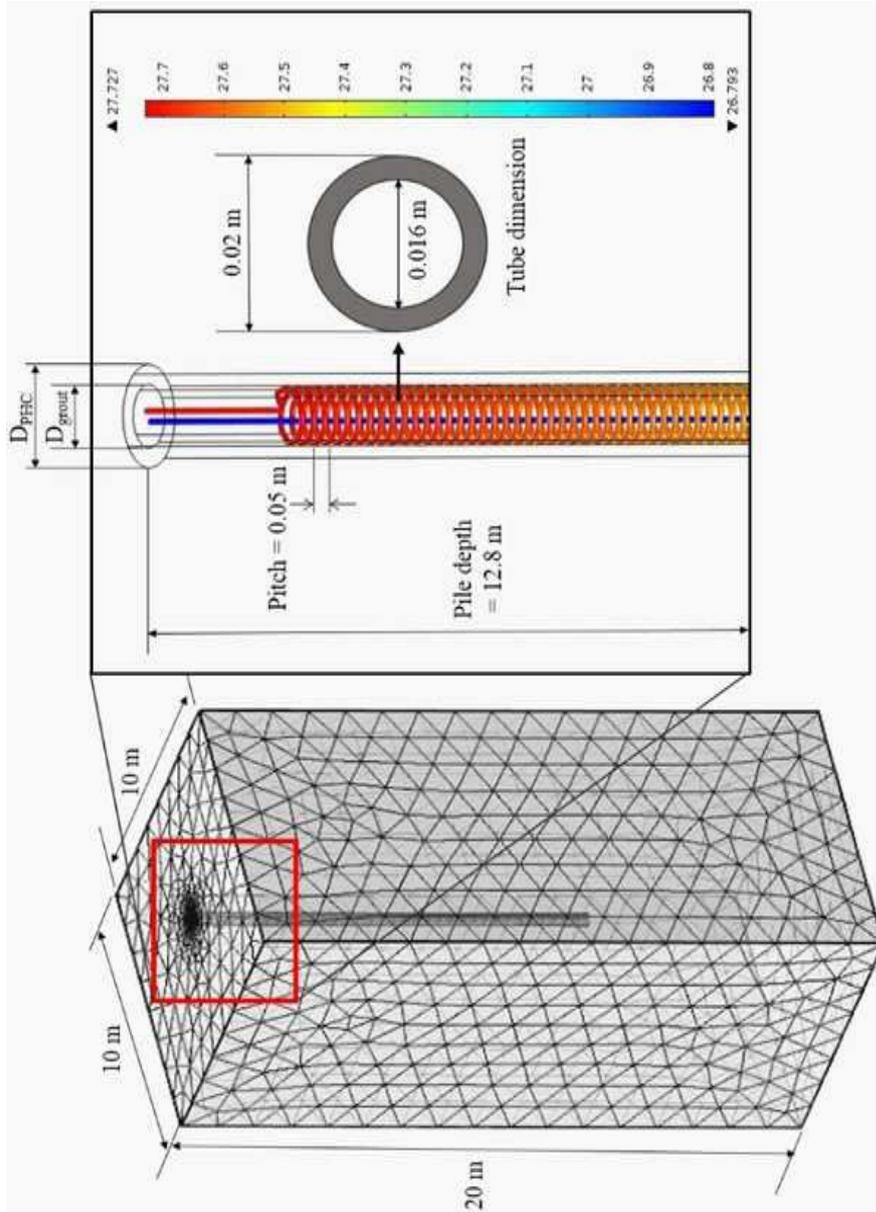
이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0075]

그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

도면1



도면2

