



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년08월12일

(11) 등록번호 10-1543951

(24) 등록일자 2015년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 19/00 (2011.01)

(21) 출원번호 10-2014-0021880

(22) 출원일자 2014년02월25일

심사청구일자 2014년02월25일

(56) 선행기술조사문헌

윤석 외 3인, '코일형 지중열교환기를 이용한 지반의 열전도도 산정', 大韓土木學會論文集 제32권 제5C호, 2012.09, pp.177-183

송진희 외 3인, 'SCW 지중열교환기 성능 예측을 위한 동계 지하수 깊이별 온도분포 분석', 한국태양에너지학회 2013년도 춘계학술발표대회논문집, 2013.04, pp.106-111

문정은 외 1인, '나선코일형 편심 이중곡관 열교환기에서의 열전달 해석', 대한설비공학회 1995年度 동계학술발표논문집, 1995.11, pp.36-41

박스칸, '코일형 지중열교환기 해석모델과 이론해 개발 및 검증', KAIST박사학위논문, 2012

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자

이승래

대전 유성구 대학로 291, (구성동, 한국과학기술원)

윤석

대전광역시 서구 월평동

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

양성보

전체 청구항 수 : 총 9 항

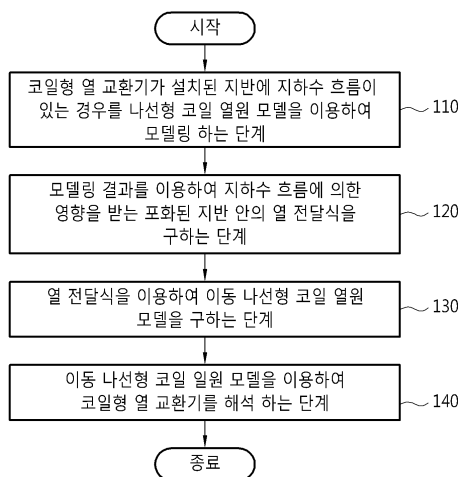
심사관 : 구대성

(54) 발명의 명칭 지하수 흐름을 고려한 코일형 열 교환기 해석 방법 및 시스템

(57) 요약

지하수 흐름을 고려한 코일형 열 교환기 해석 방법 및 시스템이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 지하수 흐름을 고려한 코일형 열 교환기 해석 방법은 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계, 상기 모델링 결과를 이용하여 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계, 상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계, 상기 이동 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기를 해석 하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

강한별

서울특별시 강동구 고덕동

고규현

경상남도 진주시 신안동

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

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계;

상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계; 및

상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계

를 포함하고,

상기 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계는,

나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 상기 지하수 흐름이 있을 때를 모델링 하는

코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 3

코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계;

상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계; 및

상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계

를 포함하고,

상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계는,

상기 포화된 지반에 작용하는 열은 열전도뿐만 아니라 상기 지하수 흐름에 의한 이류의 영향을 받는

코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 4

코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계;

상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계; 및

상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계

를 포함하고,

상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계는,

다시의 법칙 및 에너지 보존 법칙에 의하여 전개된 상기 포화된 지반 안의 열 전달식은 하기식과 같이 나타내고,

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} + \rho_w c_w \vec{V} \cdot \Delta t = \nabla \cdot (\lambda \nabla t)$$

여기에서 ∂t 는 온도변화, $\partial \tau$ 는 시간변화, ρc 는 지반의 용적 비열, $\rho_w c_w$ 는 지하수의 용적 비열, \vec{V} 는 지하수의 속도를 나타내는

코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 지하수의 흐름 속도를 u 방향으로 가정하고 양변에 ρc 를 나누어 상기 열 전달식을 정리하고, 상기 정리된 열 전달식은 하기식과 같이 나타내고,

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + U \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha \nabla^2 t$$

$$\frac{u \rho_w c_w}{\rho c}$$

여기에서, U 는 $\frac{u \rho_w c_w}{\rho c}$, u 는 x 방향의 지하수 흐름 속도를 나타내는

코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계는,

상기 나선형 코일 열원 모델에 상기 정리된 열 전달식을 적용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 이동 나선형 코일 열원 모델은 아래와 같이 나타내는

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{Q/L}{(2\pi)^{3/2} \lambda} e^{\left[\frac{x^*U}{2\alpha}\right]} \int_0^h e^{\frac{-U(r_0 \cos(\omega z))}{2\alpha}} \dots$$

$$\cdot \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{A_-(u, z')}{2\sqrt{\alpha'}} e^{-\xi^2} * \left(\frac{e^{-\frac{1}{4} \left(\frac{U^* A_-(u, z')}{4\alpha \xi^2} \right)^2}}{A_-(u, z')} \right) d\xi - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{A_+(u, z')}{2\sqrt{\alpha'}} e^{-\xi^2} * \left(\frac{e^{-\frac{1}{4} \left(\frac{U^* A_+(u, z')}{4\alpha \xi^2} \right)^2}}{A_+(u, z')} \right) d\xi \right] dz'$$

$$A_{\pm}(u, z') = \sqrt{x^2 + y^2 + r_0^2 - 2xr_0 \cos(\omega z') - 2yr_0 \sin(\omega z') + (z \pm z')^2}$$

코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 8

코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계;

상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계; 및

상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계

를 포함하고,

상기 이동 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기를 해석 하는 단계

를 더 포함하는 코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 이동 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기를 해석 하는 단계는,

수치해석 프로그램을 이용하여 상기 모델을 검증하고, 상기 모델과의 비교를 위해 상기 코일형 열 교환기 전체에 정해진 열을 가하는 방식을 적용하고, 유한요소 모델은 프리 테트라헤드럴 격자망을 사용하는

코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 지하수 흐름을 모델링 하기 위하여 상기 지반은 고체가 아닌 다공질 매체로 가정하고, 초기 간극률을 설정한 후 상기 간극 사이로 지하수가 흐르도록 하는

코일형 열 교환기 해석 방법.

청구항 11

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 지열 에너지를 이용한 냉난방 시스템 설계를 위한 지중 열 교환기-지반 간 열 전달 해석 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 지열 에너지를 이용한 냉난방 시스템 설계를 위한 지중 열 교환기-지반 간 열 전달 해석과 이 결과에 따른 설계 방법들이 다양하게 개발되어 왔다. 대표적인 모델로는 1차원 해석 방법을 기초로 한 전통적인 모델들이 있다. 그 중 제일 먼저 개발되고, 가장 널리 이용되는 모델로 무한선형열원모델(infinite line source model)이 있다. 무한선형열원모델(infinite line source model)은 켈빈(Kelvin)의 열원모델을 U자형 혹은 W자형과 같은 라인형 열 교환기에 적용하여 Carslaw & Jaeger(1947)의 의해 개발되었다. Ingersoll & Plass(1948)는 적분해 부분을 계산한 표를 제시하였다.

[0003] 또한 이런 모델로 무한선형열원모델(infinite line source model)에 지하수 흐름을 반영한 모델들이 개발되어 지중 열 교환기-지반 간의 열 전달에 지하수 흐름에 의한 이류의 영향을 반영된 지하수 흐름 해석해가 제시되었다.

[0004] 최근에는 라인형 열 교환기보다 보다 넓은 접촉면적을 가질 수 있는 코일형 형태의 열 교환기의 적용성이 점점 증가되고 있다. 코일형 열 교환기의 경우 라인형과 형태가 다르기에 기존에 널리 적용되고 있는 모델로 무한선형열원모델(infinite line source model)을 적용하는 것은 한계가 있다. 따라서 Park et al. (2013)에 의해 코일형 열 교환기에 적합한 나선형 코일 열원 모델(spiral coil source model)이 개발되어 현재 사용되고 있다. 하지만 코일형 열 교환기 형태에 지하수 흐름이 반영된 코일형 해석해 모델에 대해서는 아직 제시된 것이 없기

에 이에 대한 해석 방법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 코일형 열 교환기 형태에 지하수 흐름이 반영된 코일형 해석 방법을 제공하는데 있다. 본 발명에서는 지하수 흐름을 반영한 코일형 열 교환기 해석 방법을 새롭게 제시하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 지하수 흐름을 고려한 코일형 열 교환기 해석 방법은 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계, 상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계, 상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계를 포함할 수 있다.

[0007] 상기 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계는 나선형 코일 열원 모델에 지하수 흐름에 대한 이론을 적용하여 상기 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 상기 지하수 흐름이 있을 때를 모델링 할 수 있다.

[0008] 상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계는 상기 포화된 지반에 작용하는 열은 열전도뿐만 아니라 상기 지하수 흐름에 의한 이류의 영향을 받을 수 있다.

[0009] 상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계는 다시의 법칙(Darcy 's law) 및 에너지 보존 법칙에 의하여 전개된 상기 포화된 지반 안의 열 전달식은 하기 식과 같이 나타내고,

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} + \rho_w c_w \bar{V} \cdot \Delta t = \nabla \cdot (\lambda \nabla t)$$

[0010] 여기서 ∂t 는 온도변화, $\partial \tau$ 는 시간변화, ρc 는 지반의 용적 비열, $\rho_w c_w$ 는 지하수의 용적 비열, \bar{V} 는 지하수의 속도를 나타낼 수 있다.

[0011] 상기 지하수의 흐름 속도를 +x 방향으로 가정하고 양변에 ρc 를 나누어 상기 열 전달식을 정리하고, 상기 정리된 열 전달식은 하기식과 같이 나타내고,

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + U \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha \nabla^2 t$$

[0012] 여기서, U는 $\frac{u \rho_w c_w}{\rho c}$, u는 +x 방향의 지하수 흐름 속도를 나타낼 수 있다.

[0013] 상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계는 상기 나선형 코일 열원 모델에 상기 정리된 열 전달식을 적용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구할 수 있다.

[0014] 상기 이동 나선형 코일 열원 모델은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{Q/L}{(2\pi)^{3/2} \lambda} e^{\left[\frac{x^2 U}{2\alpha}\right]} \int_0^h e^{\frac{-U(r_0 \cos(\omega z))}{2\alpha}} \dots$$

$$\cdot \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{A_-(u, z')}{2\sqrt{\alpha t}} e^{-\xi^2} * \left(\frac{e^{-\frac{U^2 A_-(u, z')^2}{4\alpha \xi^2}}}{A_-(u, z')} \right) d\xi - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{A_+(u, z')}{2\sqrt{\alpha t}} e^{-\xi^2} * \left(\frac{e^{-\frac{U^2 A_+(u, z')^2}{4\alpha \xi^2}}}{A_+(u, z')} \right) d\xi \right] dz'$$

$$A_{\pm}(u, z') = \sqrt{x^2 + y^2 + r_0^2 - 2xr_0 \cos(\omega z') - 2yr_0 \sin(\omega z') + (z \pm z')^2}$$

[0017]

[0018]

본 발명에서 제안하는 지하수 흐름을 고려한 코일형 열 교환기 해석 방법은 상기 이동 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기를 해석 하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019]

상기 이동 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기를 해석 하는 단계는 수치해석 프로그램을 이용하여 상기 모델을 검증하고, 상기 모델과의 비교를 위해 상기 코일형 열 교환기 전체에 정해진 열을 가하는 방식을 적용하고, 유한요소 모델은 프리 테트라헤드럴(Free tetrahedral) 격자망을 사용할 수 있다.

[0020]

상기 지하수 흐름을 모델링 하기 위하여 상기 지반은 고체가 아닌 다공질 매체로 가정하고, 초기 간극률을 설정한 후 상기 간극 사이로 지하수가 흐르도록 할 수 있다.

[0021]

또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 지하수 흐름을 고려한 코일형 열 교환기 해석 시스템은 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하고, 상기 이동 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기를 해석 할 수 있다.

발명의 효과

[0022]

본 발명의 실시예들에 따르면 코일형 열 교환기 형태에 지하수 흐름이 반영된 코일형 해석 방법을 이용함으로써 흐름을 반영한 코일형 열 교환기 해석 방법을 새롭게 제시한다. 따라서, 지열 에너지를 이용한 냉난방 시스템 설계를 위한 지중 열 교환기-지반 간 열 전달해석과 이 결과에 따른 설계방법을 이용함으로써 열 효율을 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023]

- 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 지하수 흐름을 고려한 코일형 해석 모델 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 이동 나선형 코일 열원 모델의 온도 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유한요소 모델, 격자 및 해석 결과를 나타내는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 주요 지하수 흐름 속도에 따른 검증 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024]

이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0025]

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 지하수 흐름을 고려한 코일형 해석 모델 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0026]

지하수 흐름을 고려한 코일형 해석 모델 방법은 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 하는 단계(110), 상기 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구하는 단계(120), 상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계(130), 상기 이동 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기를 해석 하는 단계(140)를 포함할 수 있다.

[0027]

단계(110)에서, 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 모델링 할 수 있다. 이때, 나선형 코일 열원 모델에 지하수 흐름에 대한 이론을 적용하여 상기 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 상기 지하수 흐름이 있는 경우를 모델링 할 수 있다. 종래기술에 따른 지하수 흐름 관련 해석 모델들은 주로 선형 교환기를 위한 모델로 코일형 열 교환기를 정확히 반영할 수는 없다. 따라서, 종래기술에 따른 나선형 코일 열원 모델(spiral coil source model)에 지하수 흐름에 대한 이론을 적용하여 코일형 열 교환기가 설치된 지반에 지하수 흐름이 있는 경우를 모델링 할 수 있다. 일반적인 나선형 코일 열원 모델(spiral coil source model)은 수학적 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta(u,t) = \frac{Q/L}{\rho c} \int_0^t \int_0^\infty \tilde{G}(u,t; x' = r_0 \cos(\omega z'), y' = r_0 \sin(\omega z'), z', t') dz' dt'$$

$$= \frac{Q/L}{(4\pi\alpha)^{3/2} \rho c} \int_0^t \frac{1}{(t-t')^{3/2}} \int_0^h e^{-\frac{F(x,y,z')}{4\alpha(t-t')}} \cdot (e^{-\frac{(z-z')^2}{4\alpha(t-t')}} - e^{-\frac{(z+z')^2}{4\alpha(t-t')}}) dz' dt'$$

수학적1

[0028]

[0029]

단계(120)에서, 모델링 결과를 이용하여 상기 지하수 흐름에 의한 영향을 받는 포화된 지반 안의 열 전달식을 구할 수 있다. 이때, 포화된 지반에 작용하는 열은 열전도뿐만 아니라 상기 지하수 흐름에 의한 이류의 영향을 받을 수 있다. 그리고 다시의 법칙(Darcy's law)과 에너지 보존 법칙에 의하여 전개된 포화된 지반 안의 열 전달은 수학적 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} + \rho_w c_w \vec{V} \cdot \Delta t = \nabla \cdot (\lambda \nabla t)$$

수학적2

[0030]

[0031]

여기에서 ∂t 는 온도변화, $\partial \tau$ 는 시간변화, ρc 는 지반의 용적 비열, $\rho_w c_w$ 는 지하수의 용적 비열, \vec{V} 는 지하수의 속도를 나타낼 수 있다. 그리고 지하수의 흐름 속도를 +x 방향으로 가정하고 양변에 ρc 를 나누어 상기 열 전달식을 정리할 수 있다. 이렇게 정리된 열 전달식은 수학적3과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + U \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha \nabla^2 t$$

수학적3

[0032]

[0033]

단계(130)에서, 상기 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구할 수 있다. 여기에서, U는

$$\frac{u \rho_w c_w}{\rho c}$$

, u는 +x 방향의 지하수 흐름 속도를 나타낼 수 있다. 열 전달식을 이용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구하는 단계는 상기 나선형 코일 열원 모델에 상기 정리된 열 전달식을 적용하여 이동 나선형 코일 열원 모델을 구할 수 있다. 다시 말해, 수학적1에 수학적3과 같은 지하수 흐름 이론을 적용할 수 있으며 지하수가 +x 방향으로 흐르는 경우는 수학적4와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta(u, t) = \frac{Q/L}{(4\pi\alpha)^{3/2} \rho c} \int_0^t \frac{1}{(t-t')^{3/2}} \int_0^h e^{-\frac{F(x-U(t-t'), y, z')}{4\alpha(t-t')}} \cdot \left(e^{-\frac{(z-z')^2}{4\alpha(t-t')}} - e^{-\frac{(z+z')^2}{4\alpha(t-t')}} \right) dz' dt'$$

$$F(x-U(t-t'), y, z') = \{x-U(t-t')\}^2 + y^2 + r_0^2 - 2\{x-U(t-t')\}r_0 \cos(\omega z') - 2yr_0 \sin(\omega z')$$

[0034]

수학식4

[0035]

이때, 계산 시 t항 때문에 분모가 0이 되어 적분이 제대로 수행되지 않기 때문에 추가적인 수정이 필요하다. 이에 따라 $\xi = A(u, z') / (2\sqrt{\alpha(t-t')})$ 로 치환한 후 z, t의 적분 순서를 바꾸어 정리하면 최종적으로 수학식5를 얻을 수 있다.

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{Q/L}{(2\pi)^{3/2} \lambda} e^{-\frac{x^2+U^2}{2\alpha t}} \int_0^h e^{-\frac{U(r_0 \cos(\omega z'))}{2\alpha}} \dots$$

$$\cdot \left[\int_{\frac{A_-(u, z')}{2\sqrt{\alpha t}}}^{\infty} \frac{A_-(u, z')}{2\sqrt{\alpha t}} e^{-\xi^2} * \left(\frac{e^{-\frac{1}{4\alpha\xi^2} \left(\frac{U^2 A_-(u, z')^2}{4\alpha\xi^2} \right)}}{A_-(u, z')} \right) d\xi - \int_{\frac{A_+(u, z')}{2\sqrt{\alpha t}}}^{\infty} \frac{A_+(u, z')}{2\sqrt{\alpha t}} e^{-\xi^2} * \left(\frac{e^{-\frac{1}{4\alpha\xi^2} \left(\frac{U^2 A_+(u, z')^2}{4\alpha\xi^2} \right)}}{A_+(u, z')} \right) d\xi \right] dz'$$

$$A_{\pm}(u, z') = \sqrt{x^2 + y^2 + r_0^2 - 2xr_0 \cos(\omega z') - 2yr_0 \sin(\omega z') + (z \pm z')^2}$$

[0036]

수학식5

[0037]

수학식5와 같이 이동 나선형 코일 열원 모델(Moving spiral coil source model)을 나타낼 수 있으며 표 1의 물성치를 사용하여 나타낸 온도 변화는 도 2과 같다.

[0038]

<표1>

지하수 유속 및 방향	2, 50, 100, 200 (m/year), +x 방향	
초기 지반 온도	15°C	
주입 열량	20 W/m	
토양 물성치	열전도도 (W/mK)	2.31
	밀도 (kg/m ³)	2352.14
	비열 (J/(K * kg))	1060.93
해석시간	1년	

[0039]

[0040]

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 이동 나선형 코일 열원 모델의 온도 변화를 나타내는 그래프이다. 도 2는 표 1의 물성치를 사용하여 +x 방향의 지하수 유속에 따른 이동 나선형 코일 열원 모델의 온도 변화를 나타내는 그래프이다. 도 2a는 지하수 유속이 2m/year인 이동 나선형 코일 열원 모델의 온도 변화, 도 2b는 지하수 유속이 50m/year인 이동 나선형 코일 열원 모델의 온도 변화, 도 2c는 지하수 유속이 100m/year인 이동 나선형 코일 열원 모델의 온도 변화, 도 2d는 지하수 유속이 200m/year인 이동 나선형 코일 열원 모델의 온도 변화를 나타내는 그래프이다.

[0041]

단계(140)에서, 상기 이동 나선형 코일 열원 모델을 이용하여 상기 코일형 열 교환기를 해석할 수 있다. 이때, 수치해석 프로그램을 이용하여 모델을 검증하고, 모델과의 비교를 위해 상기 코일형 열 교환기 전체에 정해진 열을 가하는 방식을 적용할 수 있다. 또한, 유한요소 모델은 프리 테트라헤드럴(Free tetrahedral) 격자망을 사용할 수 있다. 예를 들어, 코일의 깊이는 30m, 측정 지점은 중간지점인 15m로 설정하고, 코일의 피치는 10cm로 가정하였다. 전체적인 열 흐름 상태는 이동 유한 및 무한 열원 모델과 비슷하게 나타낼 수 있다. 하지만 열원에서 2m 이내의 열원과 가까운 지점에서는 이동 나선형 코일 열원 모델에서 온도변화가 더 크게 나타난 것을 확인

할 수 있다. 이러한 결과는 선형 교환기에 비해 코일형 교환기가 같은 열량을 주입하였을 때도 열 배출 면적이 넓어 온도 상승폭이 크기 때문이다. 그리고, 지하수 흐름의 영향이 크게 미치는 2m 이상의 지점에서는 선형 모델들과 큰 차이가 나지 않을 수 있다. 설계에서는 지중 열 저항을 지반과 접하는 보어홀 벽면의 온도 변화 값을 통해 측정할 수 있다. 그리고, 보어홀의 반지름은 거의 대부분 0.5m 이하라는 것을 감안한다면 열 저항 측정에 있어 상당히 의미있는 결과라는 것을 알 수 있다. 일 실시예에 따르면, 해석 모델의 설계 적용을 위해 유한요소 수치해석 프로그램인 COMSOL Multiphysics 4.3a를 이용하여 해석 모델을 검증하였다. 일반적으로 지하수 흐름이 없거나 투수계수가 매우 낮은 지반의 경우, 이류 또는 이류의 영향은 미미한 것으로 고려할 수 있다. 하지만, 여기서는 지하수 흐름을 모델링 하기 위하여 지반은 고체가 아닌 공극이 있는 다공질 매체(porous media)로 가정되었다. 그리고 초기 간극률을 설정한 후 그 간극 사이로 지하수가 흐를 수 있다. 해석에서의 지배 방정식은 일반적인 전도 방정식(Incropera & Dewitt, 2000)에 지하수에 의한 이류에 관한 항을 추가한 식으로 이는 수학식6과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\rho C_p)_{eq} \frac{\partial T}{\partial \tau} + \rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\lambda_{eq} \nabla T) + Q$$

$$(\rho C_p)_{eq} = n_p \rho_p C_{p,p} + (1 - n_p) \rho C_p$$

$$\lambda_{eq} = n_p \lambda_p + (1 - n_p) \lambda$$

[0042]

수학식6

[0043]

여기에서, $(\rho C_p)_{eq}$ 는 매질의 등가 밀도와 비열, λ_{eq} 는 매질의 등가 열전도도, $\partial T / \partial \tau$ 는 시간에 따른 온도 변화량, u 는 지하수의 속도, Q 는 열원으로부터 발생하는 열, n_p 는 다공질 매체(porous media)의 간극률을 나타낼 수 있다. 수학식6과 같이 매질 전체의 밀도, 비열, 열전도도는 간극률에 따라 등가의 값으로 결정될 수 있다. 또한, 해석 모델과의 비교를 위해 일반적인 CFD 해석이 아닌 열 교환기 전체에 정해진 열을 가하는 방식을 적용하였으며 유한요소 모델은 프리 테트라히드럴(Free tetrahedral) 격자망을 사용하였다. 또한, 열 교환기의 깊이는 15m로 설정하고 측정 지점은 중간지점인 7.5m를 사용하였다.

[0044]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유한요소 모델, 격자 및 해석 결과를 나타내는 도면이다. 도 3a는 유한요소 모델, 도 3b는 격자, 도 3c는 해석결과를 나타낸다.

[0045]

도 3을 참조하면, 모델의 경계조건은 가로(310), 세로(320)가 20m, 높이(330)는 30m로 해석되었고 열의 반사를 막기 위해 단열 처리하였다. 수월한 검증을 위해 열원과의 거리 및 온도변화에 대한 무차원 계수를 도입하였으며 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{H}$$

$$\Phi = \frac{4\pi\lambda\Delta t}{Q/L}$$

[0046]

수학식7

[0047]

여기에서, x 및 y 는 측정하고자 하는 점의 좌표, H 는 열 교환기의 깊이를 나타낸다.

[0048]

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 주요 지하수 흐름 속도에 따른 검증 결과를 나타낸 그래프이다. 도 4a는 지하수 유속이 2m/year일 때의 검증 결과, 도 4b는 지하수 유속이 50m/year일 때의 검증 결과, 도 4c는 지하수 유

속이 100m/year일 때의 검증 결과, 도 4d는 지하수 유속이 200m/year일 때의 검증 결과를 나타내는 그래프이다. 도 4에는 주요 지하수 흐름 속도에 따른 검증 결과가 나타나 있으며 매우 근사한 결과를 보임을 알 수 있다. 특히 흐름 속도가 빨라져 지하수가 열 흐름을 지배하게 될수록 더 일치하는 모습을 보여 지하수 흐름을 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다.

[0049] 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, FPA(field programmable 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.

[0050] 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, 가상장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)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.

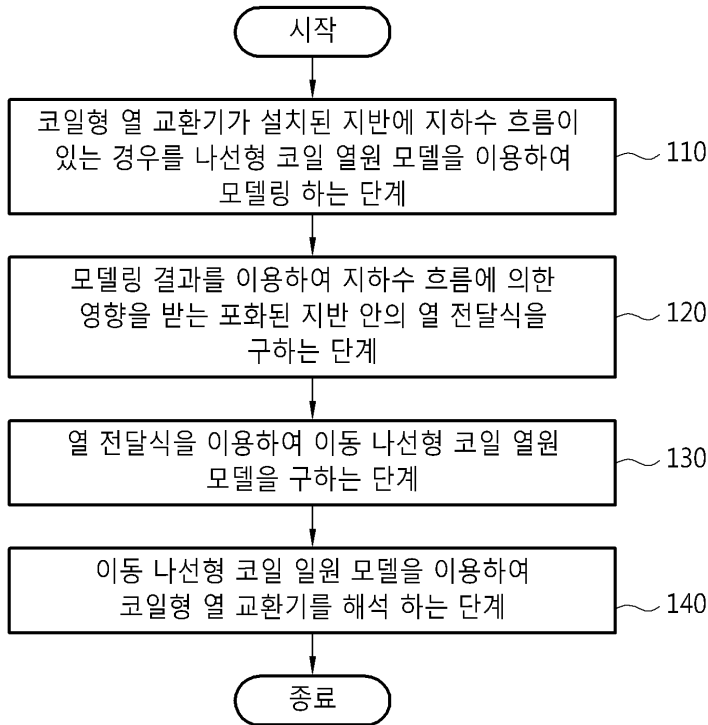
[0051] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic 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.

[0052] 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.

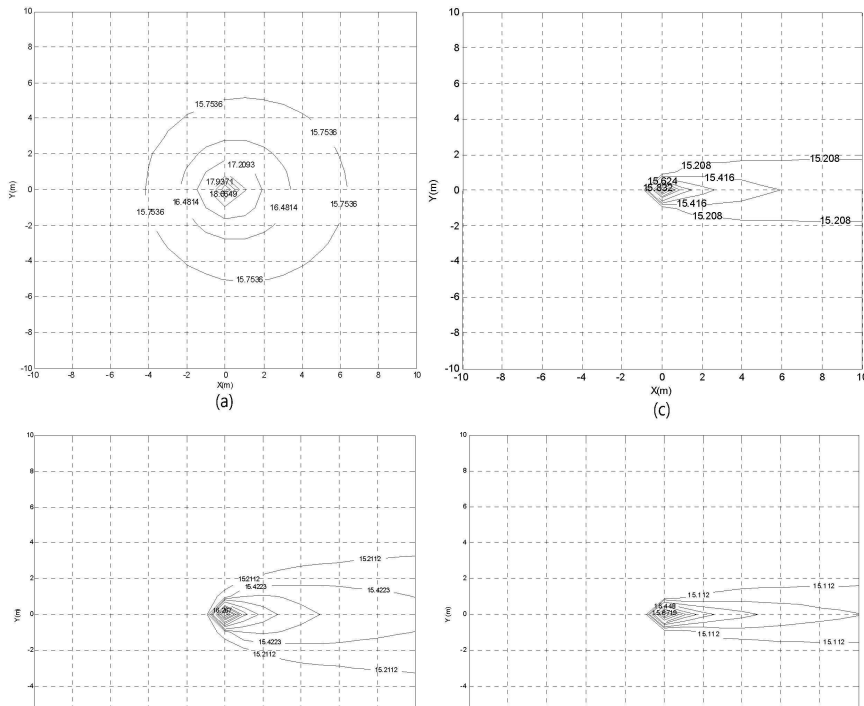
[0053] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

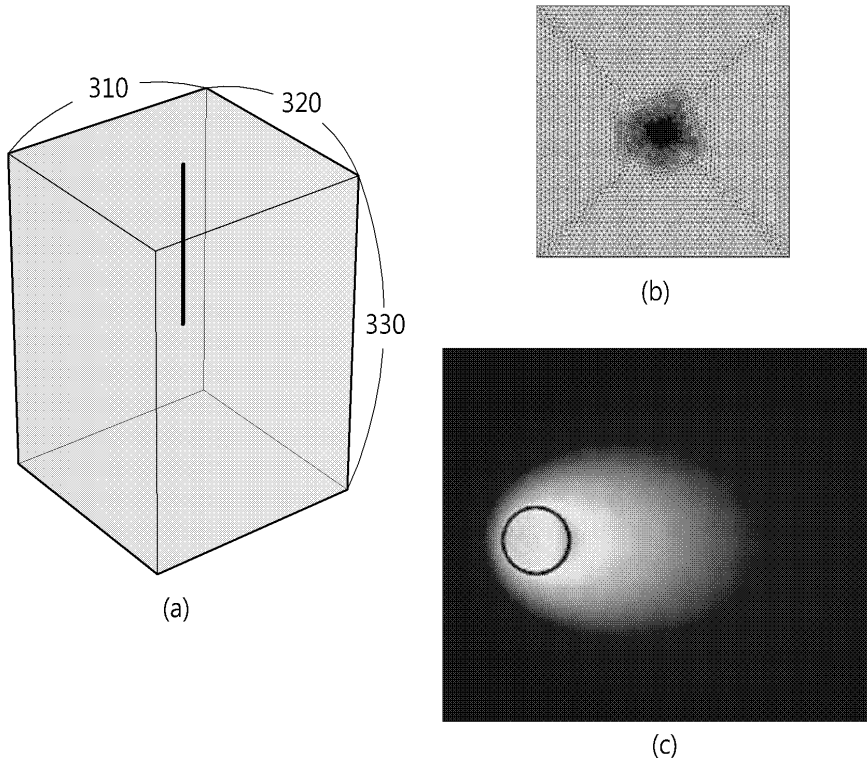
도면1



도면2



도면3



도면4

