



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0005239
(43) 공개일자 2020년01월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F24T 10/15 (2018.01) F25B 30/06 (2006.01)
G06F 17/50 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F24T 10/15 (2018.05)
F25B 30/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0078728
(22) 출원일자 2018년07월06일
심사청구일자 2018년07월06일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
지에스건설 주식회사
서울특별시 종로구 종로 33 (청진동)
(72) 발명자
김의중
인천광역시 동구 송현로 39, 202동 1502호(송현동, 솔빛마을 주공2차아파트)
김영섭
경기도 용인시 처인구 이동면 덕성리 백옥대로 388
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이동희

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 지열 히트펌프 시스템에서 비정형 배열 구조를 가지는 지중열교환기의 용량 산정방법

(57) 요약

지열 히트펌프 시스템에서 비정형 배열 구조를 가지는 지중열교환기의 용량 산정방법이 개시된다.

본 발명의 일례에 의한 지중열교환기가 U자형 배열, L자형배열, I자형배열 및 속이 빈 사각형배열 중 어느 하나의 비정형 배열구조를 가지는 지열히트펌프 시스템에서의 지중열교환기 용량산정방법은, 상기 비정형 배열구조를 (뒷면에 계속)

대표도 - 도3

구분	원통형	사각형	U 자형	L 자형	I 자형
대상 배열 형태					
보어홀간격	B				
수정된 원통형 배열구조					
B_{opt}	$B=B_{opt}$	$< B_{opt_REC}$	$< B_{opt_U}$	$< B_{opt_L}$	$< B_{opt_I}$

가지며, 지중열교환기가 삽입되는 보어홀들 간의 최단거리인 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 배열되는 대상 배열구조에서, 상기 대상 배열구조를 구성하는 대상 보어홀들의 개수(N) 및 상기 대상 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고, 대상 보어홀들 간의 거리의 합인 대상 거리합(S_t)을 산출하고, 원형 단면에 복수의 보어홀들이 배치되고 중심에 위치한 보어홀을 동일한 간격(B)만큼 이격된 6개의 보어홀들이 둘러싸고, 경계와 가장 근접한 보어홀은 동일한 간격(B) 만큼 이격된 3개의 보어홀들이 배열되고, 상기 대상 배열구조와 보어홀들의 개수(N) 및 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 적용한 원통형 배열구조를 구성하고, 상기 원통형 배열구조를 구성하는 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고 보어홀들 간의 거리의 합인 기준 거리합(S_d)을 산출하는 제1단계와; 동일한 보어홀 개수를 가지는 상태에서 지중열교환기 출구온도(EWT)의 차이가 최소화되도록 하여 상기 대상 배열구조를 상기 원통형 배열구조로 변환하는 경우에 적용될 보어홀 간격값을, 수정 보어홀 간격값(B_{op})으로 하여 산출하는 제2단계와; 상기 수정 보어홀 간격값(B_{opt})을 이용하여 상기 대상 배열구조의 용량인 지중 축열조의 부피(V)를 산출하는 제3단계를 구비한다.

(52) CPC특허분류

G06F 30/17 (2020.01)

F24T 2201/00 (2018.05)

(72) 발명자

장용성

경기도 용인시 처인구 이동면 덕성리 백옥대로 388

박승훈

경기도 고양시 덕양구 세솔로 105, 1709동 1403호
(삼송동, 삼송마을동원로얄듀크)

명세서

청구범위

청구항 1

지중열교환기가 원통형 배열구조가 아닌 U자형 배열, L자형배열, I자형배열 및 속이 빈 사각형배열을 포함하는 비정형 배열구조를 가지는 지열히트펌프 시스템에서의 지중열교환기 용량산정방법에 있어서,

상기 비정형 배열구조를 가지며, 지중열교환기가 삽입되는 보어홀들 간의 최단거리인 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 배열되는 대상 배열구조에서, 상기 대상 배열구조를 구성하는 대상 보어홀들의 개수(N) 및 상기 대상 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고, 아래의 [수학식 1]을 이용하여 대상 보어홀들 간의 거리의 합인 대상 거리합(S_t)을 산출하고,

원형 단면에 복수의 보어홀들이 배치되고 중심에 위치한 보어홀을 동일한 간격(B)만큼 이격된 6개의 보어홀들이 둘러싸고, 경계와 가장 근접한 보어홀은 동일한 간격(B) 만큼 이격된 3개의 보어홀들이 배열되고, 상기 대상 배열구조와 보어홀들의 개수(N) 및 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 적용한 원통형 배열구조를 구성하고, 상기 원통형 배열구조를 구성하는 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고 아래의 [수학식 1]을 이용하여 보어홀들 간의 거리의 합인 기준 거리합(S_d)을 산출하는 제1단계와;

동일한 보어홀 개수를 가지는 상태에서 지중열교환기 출구온도(EWT)의 차이가 최소화되도록 하여 상기 대상 배열구조를 상기 원통형 배열구조로 변환하는 경우에 적용될 보어홀 간격값을 아래의 [수학식 2]를 이용하여 수정 보어홀 간격값(B_{opt})으로 하여 산출하는 제2단계와;

상기 수정 보어홀 간격값(B_{opt})을 아래의 [수학식 3]에 적용하여 상기 대상 배열구조의 용량인 지중 축열조의 부피(V)를 산출하는 제3단계를 구비함을 특징으로 하는 지중열교환기 용량산정방법.

[수학식 1]

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=i}^N \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)}{N}$$

[수학식 2]

$$B_{opt} = b_0 + b_1 B + b_2 B^2 + b_3 \left(\frac{S_t}{S_d} \right) + b_4 \left(\frac{S_t}{S_d} \right)^2 + b_5 B \left(\frac{S_t}{S_d} \right)$$

(여기서, $b_0 = -6.91407010$, $b_1 = 1.69218975$, $b_2 = -0.04428898$, $b_3 = 4.66241132$, $b_4 = -0.61527356$, $b_5 = 0.10019864$ 이다)

[수학식 3]

$$V = \pi \times N \times H \times (0.525 \times B_{opt})^2$$

청구항 2

지중열교환기가 원통형 배열구조가 아닌 U자형 배열, L자형배열, I자형배열 및 속이 빈 사각형배열을 포함하는 비정형 배열구조를 가지는 지열히트펌프 시스템에서의 지중열교환기 용량산정방법에 있어서,

상기 비정형 배열구조를 가지며, 지중열교환기가 삽입되는 보어홀들 간의 최단거리인 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 배열되는 대상 배열구조에서, 상기 대상 배열구조를 구성하는 대상 보어홀들의 개수(N) 및 상기 대상 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고, 아래의 [수학식 1]을 이용하여 대상 보어홀들 간의 거리의 합인 대상 거리합(S_t)을 산출하고,

원형 단면에 복수의 보어홀들이 배치되고 중심에 위치한 보어홀을 동일한 간격(B)만큼 이격된 6개의 보어홀들이 둘러싸고, 경계와 가장 근접한 보어홀은 동일한 간격(B) 만큼 이격된 3개의 보어홀들이 배열되고, 상기 대상 배열구조와 보어홀들의 개수(N) 및 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 적용한 원통형 배열구조에서의보어홀들 간의 거리의 합인 기준 거리합(S_d)을 아래의 [수학식 4]를 이용하여 산출하는 제1단계와;

동일한 보어홀 개수를 가지는 상태에서 지중열교환기 출구온도(EWT)의 차이가 최소화되도록 하여 상기 대상 배열구조를 상기 원통형 배열구조로 변환하는 경우에 적용될 보어홀 간격값을 아래의 [수학식 2]를 이용하여 수정 보어홀 간격값(B_{opt})으로 하여 산출하는 제2단계와;

상기 수정 보어홀 간격값(B_{opt})을 아래의 [수학식 3]에 적용하여 상기 대상 배열구조의 용량인 지중 축열조의 부피(V)를 산출하는 제3단계를 구비함을 특징으로 하는 지중열교환기 용량산정방법.

[수학식 1]

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=i}^N \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)}{N}$$

[수학식 2]

$$B_{opt} = b_0 + b_1 B + b_2 B^2 + b_3 \left(\frac{S_t}{S_d} \right) + b_4 \left(\frac{S_t}{S_d} \right)^2 + b_5 B \left(\frac{S_t}{S_d} \right)$$

(여기서, $b_0 = -6.91407010$, $b_1 = 1.69218975$, $b_2 = -0.04428898$, $b_3 = 4.66241132$, $b_4 = -0.61527356$, $b_5 = 0.10019864$ 이다)

[수학식 3]

$$V = \pi \times N \times H \times (0.525 \times B_{opt})^2$$

[수학식 4]

$$S_d = (0.4682 \times N^{1.503} - 0.6462) \times B$$

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 대상 거리합(S_t)/상기 기준거리합(S_d)은 5.5 이하의 값을 가짐을 특징으로 하는 지중열교환기 용량산정방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 U자형 배열은 지중열교환기가 삽입되는 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 L자형배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 I자형배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 사각형 배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조임을 특징으로 하는 지중열교환기 용량산정방법.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 지중열교환기는 수직밀폐형 지중열교환기임을 특징으로 하는 지중열교환기 용량산정방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 지열 히트펌프 시스템에서 비정형 배열 구조를 가지는 지중열교환기의 모델링 방법 및 이를 통한 용량 산정방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 원통형 배열 구조 이외에 사각형, U 자형, L 자형, I 자형 배열구조 등의 비정형 배열구조를 가지는 지중열교환기의 용량을 최적화 알고리즘을 이용하여 산정할 수 있는 지열 히트펌프 시스템에서 비정형 배열 구조를 가지는 지중열교환기의 용량 산정방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 지열 히트펌프 시스템은 지중열교환기와 히트펌프를 포함하고, 지중열교환기로부터의 지중 열원을 흡수 또는 방출하며 히트펌프와 연계된 건물에 대해서 냉방 및 난방을 수행하는 공기조화기이다. 지열 히트펌프 시스템은 냉방 시에는 건물 내의 열을 지중으로 방출하고, 난방 시에는 지중의 열을 흡수하여 건물 내로 공급함으로써 냉방 및 난방 운전을 행한다.

[0003] 이러한 지열 히트펌프 시스템에서 지중열교환기 내부를 순환 후 히트펌프로 유입되는 열매체의 지중열교환기 출구온도(EWT:Entering Water Temperature)는 히트펌프의 성능을 결정하는 주요인자이며, 동일한 지중 부하조건에서도 지중열교환기의 개수 및 배열 간격, 지중 특성에 따라 값이 달라진다. 일반적으로 지중열교환기 출구온도(EWT)의 최대 거동 범위는 시스템 설계자에 의도에 의해 결정되며, 설계 시 최소 10년 이상의 장기간 시스템 운전 조건에서 지중열교환기 출구온도(EWT)의 거동범위가 설계 범위 내에서 유지되는지 파악하는 것이

중요하다.

- [0004] 지중열교환기를 과잉으로 설계하면 설계자가 정한 지중열교환기 출구온도(EWT)의 최대 및 최소 범위에 동떨어져 설계의도를 반영하지 못하고 초기 투자비 상승을 초래한다. 반면, 지나치게 축소된 길이로 설계하게 되면 지중열교환기 출구온도(EWT)가 설계 범위를 넘어서고 경우에 따라서는 히트펌프 수용 범위를 넘어서 시스템이 제대로 작동하지 않게 되는 문제점을 야기하게 된다.
- [0005] 따라서 장기간 운전 상황에서 지중열교환기의 출구온도(EWT)가 설계 조건에 근접하도록 지열열교환기의 용량을 최적으로 산정하는 것이 필요하다.
- [0006] 이러한 용량 산정을 위해 Duct Storage 모델(이하 'DST 모델')이 제안된 바 있다. DST 모델은 열확산 방정식의 선형성과 원통좌표계를 이용하여 3차원의 복잡한 열전달 현상을 2차원으로 단순화시켜 계산하도록 고안된 것으로 그 구조의 예가 도 1에 도시된다.
- [0007] DST모델은 도 1에 도시된 바와 같이, 모든 경우에 대해 수직밀폐형 지중열교환기의 배열은 원통형인 것으로 가정한다. 즉 원형 단면에 지중열교환기가 삽입설치되는 복수의 보어홀들이 배치되고 중심에 위치한 보어홀을 동일한 간격(B)만큼 이격된 6개의 보어홀들이 둘러싸고, 경계와 가장 근접한 보어홀은 동일한 간격(B)만큼 이격된 3개의 보어홀들이 배열되는 것으로 가정한 상태에서, 원통형의 규칙적인 보어홀 배열을 대상으로 지중 열저장 부피인 지중 축열조의 부피를 수치적으로 계산하는 모델이다.
- [0008] 이에 따라, 사용자가 지중열교환기의 개수(N), 간격(B), 깊이(H) 및 수직밀폐형 지중열교환기의 물성치와 지중열 물성치 값을 입력하면 원통형의 배열이 자동으로 형성되며, 지중과의 열전달을 지중 축열조의 부피(V_{DST})라는 단순한 파라미터로 계산한다. 지중 축열조의 부피(V_{DST})는 지중열교환기의 개수(N), 간격(B), 깊이(H)의 함수이며 사용자가 요구되는 입력값을 입력하면 아래의 수식과 같이 지중 축열조의 부피(V_{DST})가 산정 계산되게 된다.

[수학식]

$$V_{DST} = \pi \times N \times H \times (0.525 \times B)^2$$

- [0009]
- [0010] 그러나 DST모델은 본래 지중 축열(BTES, Borehole Thermal Energy Storage) 해석 모델로 고안되었기 때문에 원통형 배열구조를 가지는 경우에만 적용이 가능하여 원통형 배열구조만을 해석할 수 있다는 한계점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-0955393호(2010.04.21.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 따라서, 본 발명의 목적은 상기한 종래의 문제점을 극복할 수 있는 지열 히트펌프 시스템에서 비정형 배열 구조를 가지는 지중열교환기의 용량 산정방법을 제공하는 데 있다.
- [0013] 본 발명의 다른 목적은 원통형 배열구조가 아닌 비정형 배열구조를 가지는 경우에도 간편하게 용량을 산정할 수 있는 지열 히트펌프 시스템에서 비정형 배열 구조를 가지는 지중열교환기의 용량 산정방법을 제공하는 데 있다.
- [0014] 본 발명의 목적은 상술한 것에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 목적들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0015]

상기한 목적의 일부를 달성하기 위한 본 발명의 구체화에 따라, 본 발명에 따른 지중열교환기가 원통형 배열구조가 아닌 U자형 배열, L자형배열, I자형배열 및 속이 빈 사각형배열을 포함하는 비정형 배열구조를 가지는 지열히트펌프 시스템에서의 지중열교환기 용량산정방법은, 상기 비정형 배열구조를 가지며, 지중열교환기가 삽입되는 보어홀들 간의 최단거리인 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 배열되는 대상 배열구조에서, 상기 대상 배열구조를 구성하는 대상 보어홀들의 개수(N) 및 상기 대상 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고, 아래의 [수학식 1]을 이용하여 대상 보어홀들 간의 거리의 합인 대상 거리합(S_t)을 산출하고, 원형 단면에 복수의 보어홀들이 배치되고 중심에 위치한 보어홀을 동일한 간격(B)만큼 이격된 6개의 보어홀들이 둘러싸고, 경계와 가장 근접한 보어홀은 동일한 간격(B) 만큼 이격된 3개의 보어홀들이 배열되고, 상기 대상 배열구조와 보어홀들의 개수(N) 및 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 적용한 원통형 배열구조를 구성하고, 상기 원통형 배열구조를 구성하는 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고 아래의 [수학식 1]을 이용하여 보어홀들 간의 거리의 합인 기준 거리합(S_d)을 산출하는 제1단계와; 동일한 보어홀 개수를 가지는 상태에서 지중열교환기 출구온도(EWT)의 차이가 최소화되도록 하여 상기 대상 배열구조를 상기 원통형 배열구조로 변환하는 경우에 적용될 보어홀 간격값을 아래의 [수학식 2]를 이용하여 수정 보어홀 간격값(B_{opt})으로 하여 산출하는 제2단계와; 상기 수정 보어홀 간격값(B_{opt})을 아래의 [수학식 3]에 적용하여 상기 대상 배열구조의 용량인 지중 축열조의 부피(V)를 산출하는 제3단계를 구비한다.

[수학식 1]

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=i}^N \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)}{N}$$

[0016]

[수학식 2]

$$B_{opt} = b_0 + b_1 B + b_2 B^2 + b_3 \left(\frac{S_t}{S_d} \right) + b_4 \left(\frac{S_t}{S_d} \right)^2 + b_5 B \left(\frac{S_t}{S_d} \right)$$

[0017]

[0018] (여기서, $b_0 = -6.91407010$, $b_1 = 1.69218975$, $b_2 = -0.04428898$, $b_3 = 4.66241132$, $b_4 = -0.61527356$, $b_5 = 0.10019864$ 이다)

[수학식 3]

$$V = \pi \times N \times H \times (0.525 \times B_{opt})^2$$

[0019]

[0020]

상기한 기술적 과제들의 일부를 달성하기 위한 본 발명의 다른 구체화에 따라, 본 발명에 따른 지중열교환기가 원통형 배열구조가 아닌 U자형 배열, L자형배열, I자형배열 및 속이 빈 사각형배열을 포함하는 비정형 배열구조를 가지는 지열히트펌프 시스템에서의 지중열교환기 용량산정방법은, 상기 비정형 배열구조를 가지며, 지중열교환기가 삽입되는 보어홀들 간의 최단거리인 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 배열되는 대상 배열구조에서, 상기 대상 배열구조를 구성하는 대상 보어홀들의 개수(N) 및 상기 대상 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고, 아래의 [수학식 1]을 이용하여 대상 보어홀들 간의 거리의 합인 대상 거리합(S_t)을 산출하고, 원형 단면에 복수의 보어홀들이 배치되고 중심에 위치한 보어홀을 동일한 간격(B)만큼 이격된 6개의 보어홀들이 둘러싸고, 경계와 가장 근접한 보어홀은 동일한 간격(B) 만큼 이격된 3개의 보어홀들이 배열되고, 상기 대상 배열구조와 보어홀들의 개수(N) 및 보어홀 간격(B)이 서로 동일하도록 적용한 원통형 배열구조에서의 보어홀들 간의 거

리의 합인 기준 거리합(S_d)을 아래의 [수학식 4]를 이용하여 산출하는 제1단계와; 동일한 보어홀 개수를 가지는 상태에서 지중열교환기 출구온도(EWT)의 차이가 최소화되도록 하여 상기 대상 배열구조를 상기 원통형 배열구조로 변환하는 경우에 적용될 보어홀 간격값을 아래의 [수학식 2]를 이용하여 수정 보어홀 간격값(B_{opt})으로 하여 산출하는 제2단계와; 상기 수정 보어홀 간격값(B_{opt})을 아래의 [수학식 3]에 적용하여 상기 대상 배열구조의 용량인 지중 축열조의 부피(V)를 산출하는 제3단계를 구비한다.

[수학식 1]

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=i}^N \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)}{N}$$

[0021]

[수학식 2]

$$B_{opt} = b_0 + b_1 B + b_2 B^2 + b_3 \left(\frac{S_t}{S_d} \right) + b_4 \left(\frac{S_t}{S_d} \right)^2 + b_5 B \left(\frac{S_t}{S_d} \right)$$

[0022]

[0023] (여기서, $b_0 = -6.91407010$, $b_1 = 1.69218975$, $b_2 = -0.04428898$, $b_3 = 4.66241132$, $b_4 = -0.61527356$, $b_5 = 0.10019864$ 이다)

[수학식 3]

$$V = \pi \times N \times H \times (0.525 \times B_{opt})^2$$

[0024]

[수학식 4]

$$S_d = (0.4682 \times N^{1.503} - 0.6462) \times B$$

[0025]

[0026] 상기 대상 거리합(S_t)/상기 기준거리합(S_d)은 5.5 이하의 값을 가질 수 있다.

[0027]

상기 U자형 배열은 지중열교환기가 삽입되는 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 L자형 배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 I자형 배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 사각형 배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조일 수 있다.

[0028]

상기 지중열교환기는 수직밀폐형 지중열교환기일 수 있다.

발명의 효과

[0029]

상술한 바와 같은 본 발명에 의한 경우, 지열히트펌프 시스템의 주요 설계인자인 지중열교환기의 출구온도(EWT)가 설계조건에 부합하도록 최적화 알고리즘을 통해 지중 열교환기의 용량을 산출함에 의해, 지나친 투자비 상

승을 최소화 또는 방지하고, 시스템 운영비 및 시스템 안정화의 최적화를 이룰 수 있는 장점이 있다.

[0030] 또한, 비정형 배열구조를 가지는 경우에도 간단하면서도 용이하게 지중 열교환기의 용량을 산출하는 것이 가능하다.

[0031] 본 발명의 효과는 상술한 것에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 원통형 지중열교환기 배열구조의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 지열 히트펌프 시스템의 개략도이다.

도 3은 특정 비정형 배열구조와 새로이 수정된 원통형 배열구조를 서로 대비하여 나타낸 것이다.

도 4는 DST 모델과 HR 모델의 입력값들을 나타낸 것이다.

도 5는 최적화 알고리즘을 통해 도출된 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값과 대상 거리합(S_t)을 나타낸 것이다.

도 6은 특정 배열구조의 보어홀의 DST모델과 HR 모델의 EWT 비교 그래프이다.

도 7은 원통형 배열구조와 L 형 배열구조의 보어홀 사이의 거리값을 계산하는 과정을 도시한 것이다.

도 8은 B_{opt}/B 와 S_t/S_d 의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 9는 S_d/B 와 보어홀 개수 사이의 상관관계를 나타낸 그래프이다.

도 10은 지중열교환기의 용량을 산출하는 방법의 사용성을 검토하기 위하여 수행한 시뮬레이션 결과를 도시한 그래프이다.

도 11은 수정된 대상배열구조 모델과 HR모델의 EWT 평균오차를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하에서는 본 발명의 바람직한 실시예가 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 철저한 이해를 제공할 의도 외에는 다른 의도 없이 첨부한 도면들을 참조로 하여 상세히 설명될 것이다.

[0034] 본 발명에서 보어홀은 지중열교환기가 삽입 설치되는 홀을 의미하는 것으로, 보어홀과 지중열교환기가 동일한 의미로 서로 혼동되어 사용될 수 있다. 이에 따라, 분명하게 구분하여 기재된 경우를 제외하고는 보어홀이 지중 열교환기의 의미로 사용될 수 있다.

[0035] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 지열 히트펌프 시스템의 개략도이다.

[0036] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 지열 히트펌프 시스템(100)은 지중열교환기(110), 히트펌프(120), 냉난방을 필요로 하는 건물(130)을 구비한다.

[0037] 상기 히트펌프(120)는 냉매를 압축시키는 압축기(122), 냉매와 지중을 순환하는 지중순환수가 열교환을 행하는 열원측 열교환기(124), 건물(130)을 순환하는 부하 순환수가 냉매와 열교환하는 부하측 열교환기(126)를 구비한다. 이외에 통상의 기술자에게 잘 알려진 구성요소가 포함될 수 있으며, 통상의 히트펌프(120)의 구성을 가질 수 있다. 상기 지중순환수는 일명 작동유체라고도 불리며, 물이나, 물과 메탄올의 혼합물, 물과 에틸알콜의 혼합물 등, 다양한 종류 및 다양한 혼합 비율로 만들어진 부동액이 사용된다.

[0038] 이러한 히트펌프(120)는 열원측 열교환기(124) 및 부하측 열교환기(126)가 상기 지중열교환기(110) 및 건물(130)과 연결될 수 있도록 제조사에서 하나의 모듈유닛으로 만들어져 출하될 수 있다. 이러한 히트펌프(120)는 상기 지중열교환기(300)를 흐르는 작동유체의 유량이 일정한 값으로 고정된 상태에서 설계되어 운전된다.

[0039] 상기 지중열교환기(110)는 지중에 매립되어 열원측 열교환기(124)를 통과하면서 히트펌프(120)의 냉매와 열교환하는 작동유체를 통해 지중의 열원과 열교환시킨다. 상기 지중열교환기(110)는 수직 밀폐형 지중열교환기가 적용될 수 있다.

- [0040] 이러한 지중열교환기(110)는 도 3에 도시된 바와 같이, 정형배열구조인 원통형 배열구조, 비정형 배열구조인 속이빈 사각형 배열구조, U 자형 배열구조, L 자형 배열구조, 및 I 자형 배열구조를 가지게 된다.
- [0041] 원통형 배열구조에서는 모든 경우에 대해 수직밀폐형 지중열교환기의 배열이 원통형인 것으로 가정한다. 이 경우 지중열교환기가 각각 삽입설치되는 복수의 보어홀들은 원형단면에 배치되고 중심에 위치한 보어홀을 동일한 간격(B)만큼 이격된 6개의 보어홀들이 둘러싸고 있으며, 경계와 가장 근접한 보어홀은 동일한 간격(B) 만큼 이격된 3개의 보어홀들이 배열되는 구조를 가지는 것으로 가정한 모델이다.
- [0042] 상기 U자형 배열은 지중열교환기가 삽입되는 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 L자형 배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 I자형배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이고, 상기 사각형 배열은 상기 보어홀이 점으로 표시된 '  '형상의 배열구조이다.
- [0043] 좀더 구체적으로, 사각형 배열구조는 보어홀들이 인접 보어홀과의 최단거리인 보어홀 간격이 서로 동일하면서 직사각형 또는 정사각형을 이루는 형태로 배열되는 구조이다. 그리고, U 자형 배열구조는 보어홀들이 인접 보어홀과의 최단거리인 보어홀 간격이 서로 동일하면서 U 자 형으로 배열되는 구조이다. L 자형 배열구조는 보어홀들이 보어홀 간격이 서로 동일하면서 수직배열과 수평배열을 하여 L 자형으로 배열되는 구조이고, I 자형 배열구조는 보어홀들이 보어홀 간격이 서로 동일하면서 일방향으로 배열되는 구조이다.
- [0044] 상기 원통형 배열구조는 일반적으로 지중 열교환기의 용량산정을 위한 모델로 잘 알려진 DST모델에 적용되는 배열구조로, 지중열교환기의 용량인 지중 축열조의 부피(V_{DST})를 간단한 수학적식을 통해 쉽게 산출이 가능한 장점을 가진다. 그러나 원통형 배열구조를 제외한 속이 빈 사각형 배열구조, U 자형 배열구조, L 자형 배열구조, 및 I 자형 배열구조 등의 비정형 배열구조를 가지는 경우에는 지중열교환기의 용량을 산정하는 것이 어렵다.
- [0045] 따라서, 본 발명에서는 비정형 배열구조의 경우에 지중열교환기의 용량을 쉽게 산출하는 방법을 설명한다. 본 발명에서는 비정형 배열구조와 원통형 배열구조의 열간섭 효과의 차이를 이용하여, 비정형 배열구조의 지중열교환기 용량을 산정함에 있어, 비정형 배열구조와 동일한 열간섭 효과를 가지는 원통형 배열구조로 변환하는 방법을 이용하여 지중 열교환기의 용량을 산출하는 방법을 사용한다.
- [0046] 잘 알려진 바와 같이, 원통형 배열구조는 비정형 배열구조에 비하여 열간섭 효과가 강하게 나타나는 배열구조이다. 즉 가장 중심부에 위치한 중심 보어홀(또는 지중열교환기)은 인접하면서 중심 보어홀을 둘러싸는 6개의 보어홀(또는 지중열교환기)의 영향을 받는다.
- [0047] 그러나, I 자형 배열구조의 경우에 하나의 보어홀(또는 지중열교환기)은 좌우 또는 상하로 인접한 2개의 보어홀(또는 지중열교환기)에 의해 영향을 받게 되므로 I 자형 배열의 열간섭 효과는 원통형 배열의 열간섭 효과보다 약하게 나타난다. 또한, 사각형 배열구조나 L 자형 배열구조의 경우에는 원통형 배열구조에 비해서는 열간섭 효과가 약하지만 I 자형 배열구조보다는 열간섭 효과가 강하게 나타나게 된다.
- [0048] 이 경우 속이빈 사각형 배열구조, U 자형 배열구조, L 자형 배열구조, 및 I 자형 배열구조 등의 비정형 배열구조의 열간섭 효과를 산출하여 이와 동일하거나 유사한 열간섭 효과를 가지는 원통형 배열구조를 묘사하는 것이 가능하다. 이 경우 새로이 묘사된 원통형 배열구조의 보어홀 간격은 비정형 배열구조의 실제 보어홀 간격(B)보다 더 커지게 된다. 이는 원통형 배열구조의 열간섭 효과가 비정형 배열구조의 열간섭 효과보다 더 강하게 나타나기 때문에 나타나는 결과이다.
- [0049] 본 발명에서는 비정형 배열구조를 열간섭 효과가 동일하게 나타나는 원통형 배열구조로 새로이 묘사하여 해석하고자 하였고, 이때 수정된 원통형 배열구조의 보어홀 간격을 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 으로 칭하기로 한다.
- [0050] 비정형 배열구조를 원통형 배열구조로 새로이 수정하여 묘사하는 것이 가능하게 되면, 이 상태에서 DST 모델, 즉 일반적으로 알려진 원통형 배열구조의 용량산출을 위한 수학적식을 이용하여 지중열교환기의 용량을 산출하는 것이 가능하고, 수정된 원통형 배열구조의 경우 지중열교환기 출구온도(EWT)가 비정형 배열구조의 지중열교환기의 출구온도(EWT)와 유사한 거동을 보이게 됨을 확인하였다.
- [0051] 결과적으로 비정형 배열구조의 경우 수정 보어홀 간격(B_{opt})을 산출하게 되면, 원통형 배열구조로 수정하는 것이

가능하고 이 경우 지중열교환기의 용량을 산출하는 것이 가능해짐을 알 수 있다.

[0052] 도 3은 특정 비정형 배열구조와 새로이 수정된 원통형 배열구조를 서로 대비하여 나타낸 것이다.

[0053] 도 3에 도시된 바와 같이, 원통형 배열구조의 경우에는 수정된다고 하여도 동일한 보어홀 간격(B)을 가지게 된다. 하지만, 그러나 열간섭 효과가 약하게 나타나는 사각형 배열인 경우에는 수정보어홀 간격(B_{opt_REC})이 원래의 사각형 배열구조의 보어홀 간격(B)보다 커야 한다. 같은 원리로, 열간섭 효과가 약하게 나타나는 배열일수록 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값은 증가하게 된다. 이에 따라 U 자형 배열구조의 수정보어홀 간격(B_{opt_U}), L 자형 배열구조의 수정보어홀 간격(B_{opt_L}), I 자형 배열구조의 수정보어홀 간격(B_{opt_I})의 순으로 값이 점점 커지게 된다.

[0054] 본 발명에서는 수정된 원통형 배열구조의 지중열교환기 출구온도(EWT)가 원래의 비정형 배열구조의 지중열교환기의 출구온도(EWT)와 같아지도록 하는 수정 보어홀 간격 값을 최적의 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값이라 전제하였다.

[0055] 최적의 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값의 산출을 위한 최적화 수행의 기준이 되는 지중 열교환기 모델로 HR(Hybrid Reduction) 모델을 사용하였다. 이외에 다른 기준 모델도 사용이 가능하나, HR 모델은 지열응답함수라고 하는 g-function을 사용하여 지중열교환기의 순환수, 보어홀, 그리고 지중에서 일어나는 물리적인 열전달의 현상들을 수학적으로 계산하는 모델로, 지중열교환기의 배열을 정확히 묘사하는 모델로 알려져 있으며, 실제값에 근사하게 접근가능한 모델이라 알려져 있다.

[0056] 본 발명에서는 HR모델의 결과가 실제 값에 근사한다는 가정하에 최적의 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값을 찾기 위한 최적화 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 도 3에 나타난 사각형, U 자형, L 자형, I 자형의 배열에 대해 실제 보어홀 간격(B)이 각각 5m, 6m, 7m 일 때를 가정한 HR모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 후, HR모델과 동일한 조건에서 수정된 원통형 배열구조의 모델을 찾기 위한 최적화 작업을 수행하였다.

[0057] 최적화 작업은 TRNSYS에서 제공하는 TRNOPT 최적화 도구를 이용하여 진행하였다. TRNOPT는 GenOpt 최적화 프로그램을 TRNSYS 내에서 사용할 수 있도록 라이브러리 형태로 제공되는 컴포넌트이다. GenOpt에서 제공하는 여러 알고리즘 중, 본 연구에서는 좌표 추정 알고리즘(Coordinate research algorithm)을 이용하였다. 이 알고리즘은 설계변수, 목적함수 및 제약조건을 사용자가 직접 TRNSYS 템플릿 내에서 정의하여 사용할 수 있다. 해당 알고리즘은 목적함수의 값이 최소가 되도록 만드는 설계변수의 값 또는 조합을 찾도록 지정되어 있다. 사용자가 실수 집합에 대한 설계변수의 최대값과 최소값, 초기값을 정의하면 해당 범위 내에서 목적함수가 최소값이 될 때 설계변수는 수렴한다.

[0058] 최적화 알고리즘의 목적함수는 10년 동안의 DST모델과 HR모델의 EWT 차이가 최소가 되도록, 아래의 목적함수 수식과 같이 정의하였고, 원통형 배열구조인 DST모델의 보어홀 간격(B)을 설계변수(x)로 지정하였다.

[목적함수 수식식]

$$\min f(x) = \left| \frac{\sum_{i=1}^n (EWT_{DST} - EWT_{HR})_i}{n} \right|$$

[0059]

[0060] 여기서, " EWT_{DST} "는 원통형 배열구조인 DST모델의 지중열교환기의 출구온도(EWT)값을 의미하며, " EWT_{HR} "은 HR모델의 지중열교환기의 출구온도(EWT)값을 의미한다. EWT는 매 시간 간격(i)으로 통상의 기술자에게 잘 알려진 DST 모델 및 HR 모델의 방식으로 계산되며, 시뮬레이션 시간(n)은 10년 후 시점인 87600h 으로 설정하였다. 최적화를 위해 사용된 지중부하의 최대 냉방 및 난방 부하가 각각 389kW, 256kW 이며, 연간 총 냉방 및 난방 부하가 각각 509.8MWh, 372.6MWh로 냉방이 우세한 지중부하이다. 해당 알고리즘에서 목적함수의 값이 최소가 되도록 하는 최적화 작업을 위한 두 모델의 경우 입력값은, 도 4에 도시된 바와 같이, 수직밀폐형 지중 열교환기 관련하여는 보어홀 간격(B), 보어홀 개수(N), 보어홀 깊이, 헤더깊이, 작동유체밀도, 작동유체 비열, 작동유체 유량, 파이프 열전도도, 뒤통재 열전도도, 보어홀 반지름, 보어홀 내경 및 외경, 보어홀 중심간 거리값이 입력값으로 입력되고, 지중 열 물성치로는 열전도도, 열확산계수, 지중 열용량, 초기온도값이 입력값으로 입력되고, 히

트럼프 성능계수 등이 입력값으로 입력되었다.

[0061] 도 5는 최적화 알고리즘을 통해 도출된 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값을 나타낸 것이다. 상기 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값은 비정형 배열구조를 원통형 배열구조로 묘사하여 해석하고자 할 때 필요한 보어홀 간격 값을 의미한다.

[0062] 도 5에 도시된 바와 같이, 실제 보어홀 간격(B)이 5m, 6m, 7m이고, 보어홀 개수가 19, 37, 61개인 사각형, U 자형, L 자형, I 자형 배열구조의 비정형 배열구조를 원통형 배열구조로 묘사하는 경우, 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값이 실제값보다 더 커짐을 알 수 있고, 열간섭 효과가 적은 배열일수록 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값이 더 커짐을 알 수 있다.

[0063] 또한, 도 6의 상단에 도시된 그래프에 목적함수로 정의된 EWT의 평균오차값을 나타내었으며, 시뮬레이션이 종료되는 시점에 '0'으로 수렴함을 알 수 있다.

[0064] 도 6의 하단에 도시된 그래프에서는 보어홀 개수 61개, 보어홀 간격 5m의 I 자형 배열구조를, 도 5의 값을 통해 원통형 배열구조로 묘사하여 나타난 시뮬레이션 결과로, 새로이 묘사된 원통형 배열구조의 모델과 HR모델의 10년간 EWT 변화를 나타낸 것이다.

[0065] 도 6의 중간에 도시된 그래프는 두 모델의 EWT 차이를 나타낸 것이다.

[0066] 도 6에 도시된 바와 같이, 냉방이 우세한 부하패턴에서의 최대 EWT는 원통형 배열구조 모델의 EWT가 HR모델의 결과와 약 1℃의 차이만을 보였다. HR모델이 보어홀의 열용량을 고려하여 설계된 모델인 것을 고려하면, 두 모델의 이러한 EWT 차이는 보어홀 열용량을 계산에 반영하지 않는 DST모델의 최대부하가 발생하는 시점에서 열응답이 HR모델보다 빠르기 때문에 발생하는 차이로 보여진다.

[0067] 도 5에서 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값은 보어홀 개수(N), 배열구조의 차이, 실제 보어홀 간격(B) 등에 의해 일정한 규칙을 가지는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어, 열간섭 현상이 강하게 나타나는 조밀한 배열에서 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값은 작아진다. 실제 보어홀 간격(B)이 작을수록, 보어홀 개수(N)가 적을수록 보어홀의 배열은 조밀해지며, 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값은 작아진다. 또한, 동일한 보어홀 간격(B)을 가지는 배열구조의 경우, I형 배열구조보다 열간섭 현상이 강하게 나타나는 사각형의 배열구조에서 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값은 작게 나타난다.

[0068] 이에 따라, 열간섭 현상은 보어홀 개수(N)와 실제 보어홀 간격(B), 그리고 배열구조의 형태에 영향을 받는다고 판단할 수 있다.

[0069] 본 발명에서는 도 7에 도시된 바와 같이, 특정 배열에서의 열간섭 효과를 보어홀 간 거리의 합으로 나타내고자 하였다. 도 7의 (a)는 원통형 배열구조에서의 보어홀들 간의 거리의 합인 거리합(S)을 구하는 방법을 나타낸 것이고, 도 7의 (b)는 L 자형 배열구조에서의 보어홀들 간의 거리의 합을 구하는 방법을 나타낸 것이다.

[0070] 보어홀들 각각의 중심 좌표값(X_i, Y_i)을 정의하고, 보어홀들 간의 거리의 합인 거리합(S)을 아래의 [수학식 1]을 이용하여 산출하여 열간섭 효과를 나타내고자 하였다.

[수학식 1]

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=i}^N \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)}{N}$$

[0071]

[0072] 이러한 [수학식 1]을 통해 구해진 보어홀 간격(B)와 보어홀 개수(N) 및 배열구조를 달리하는 비정형 배열구조 각각의 보어홀 사이의 거리의 합인 대상 거리합(S_t)은 도 5에 도시되어 있다.

[0073] 본 발명에서는 상기 [수학식 1]을 토대로 보어홀이 원통형 배열구조를 가지는 모델을 기준으로 하여 이 경우의 보어홀 사이의 거리의 합인 기준 거리합(S_d)을 계산하고, 원통형 배열구조로 묘사하고자 하는 비정형 배열구조의

대상 배열의 보어홀 사이의 거리의 합인 대상 거리합(S_t)을 계산하고 이를 비율로 나타내었다. 만일, 묘사하고자 하는 대상 배열이 원통형 배열이라면 S_t/S_d 값은 '1'이 된다.

[0074] 도 3에 도시된 비정형 배열구조인 대상 배열구조에서 실제 보어홀 간격(B)과 최적화를 통해 얻어진 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값을 비율로 나타내어 S_t/S_d 값과의 관계를 정리하면 도 8과 같은 그래프가 얻어진다.

[0075] 도 8에 도시된 바와 같이, B_{opt}/B 는 S_t/S_d 값이 증가할수록 증가한다. 또한, 각 점은 실제 보어홀 간격(B) 값에 의해 구분되어 나타나는데, 이는 실제 보어홀 간격(B)값이 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값의 주요한 매개 변수라는 것을 보여준다. 이에 본 발명에서는 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값을 얻기 위한 방법으로 S_t/S_d 값과 B값을 독립변수로 하는 산출식을 도출하여 이용하였다. 산출식은 수학식 2를 통해 나타내었다.

[수학식 2]

$$B_{opt} = b_0 + b_1 B + b_2 B^2 + b_3 \left(\frac{S_t}{S_d} \right) + b_4 \left(\frac{S_t}{S_d} \right)^2 + b_5 B \left(\frac{S_t}{S_d} \right)$$

[0076]

[0077] (여기서, $b_0 = -6.91407010$, $b_1 = 1.69218975$, $b_2 = -0.04428898$, $b_3 = 4.66241132$, $b_4 = -0.61527356$, $b_5 = 0.10019864$ 이다.)

[0078] 상술한 수학식 2를 통해 수정 보어홀 간격(B_{opt})이 산출되면, 이를 이용하여 지중열교환기의 용량을 산정하는 것이 가능하다.

[0079] 즉, 잘 알려진 DST 모델의 지중 축열조의 부피(V_{DST})를 구하는 식에서 보어홀 간격을 상기 수정 보어홀 간격(B_{opt}) 값으로 대체한 수학식인 아래의 수학식 3을 이용하여 지중열교환기의 용량을 산출하는 것이 가능하다.

[수학식 3]

$$V = \pi \times N \times H \times (0.525 \times B_{opt})^2$$

[0080]

[0081] 한편, 기준 거리합(S_d) 값은 보어홀 개수(N)와 실제 보어홀 간격(B)과 강한 상관관계가 있다.

[0082] 도 9는 DST모델의 원통형 배열구조를 가지는 경우의 기준 거리합(S_d) 값, 보어홀 개수(N), 실제 보어홀 간격(B)의 상관관계를 나타낸 그래프이다.

[0083] 도 9에 도시된 바와 같이, 원통형 배열구조에서 7, 19, 37, 61, 91개의 보어홀을 가지는 경우, ' S_d/B ' 값은 보어홀 간격(B)에 관계없이 항상 일정한 값을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0084] 이를 수학식으로 나타내면, 아래의 수학식 4로 나타낼 수 있다.

[수학식 4]

$$S_d = (0.4682 \times N^{1.503} - 0.6462) \times B$$

[0085]

[0086] 상기 수학식 4를 이용하면 원통형 배열구조에서 쉽게 예측할 수 없는 7, 19, 37, 61, 91 이외의 보어홀 개수를 가지는 원통형 배열구조의 기준 거리값(S_d)을 계산하는 것이 가능하다.

[0087] 상술한 수학식 1 내지 수학식 4를 이용하여 지중열교환기의 용량을 산출하는 방법의 사용성을 검토하기 위하여 수행한 시뮬레이션 결과가 도 10에 도시된다.

- [0088] 도 10에 도시된 바와 같이, Case A(사각형 배열구조), Case B(변형 L 자형 배열구조), Case C(I 자형 배열구조)에 대해 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과를 HR모델과 비교하였다. 각 그래프의 상단에는 목적함수 수확식에 따른 EWT 평균오차값을 나타내었고, 중단에는 DST모델과 HR모델의 최대 EWT값의 차이를 나타내었고, 하단에는 DST모델과 HR모델의 10년간 최대 EWT의 변화를 각각 나타냈다.

[0089] Case A 와 Case C의 보어홀 배열에서는 보어홀 개수(N)가 다르더라도 목적함수값으로 나타난 EWT 평균오차가 각각 0.041℃, 0.064℃로 나타났으나 Case B와 같이 수확식 1 내지 4의 도출시 데이터에 포함되지 않은 배열에 대해서는 EWT 평균오차가 0.427℃로 비교적 크게 나타났다.

[0090] 도 11은 도 10에 도시된 배열을 바탕으로 지중부하 패턴이 다른 경우 비정형 배열구조를 원통형 배열구조인 정형 배열구조로 수정하여 적용한 수정된 대상배열구조 모델과 HR모델의 EWT 평균오차를 나타낸 것이다. Case I은 수정된 대상배열구조 모델을 도출하는 과정에서 사용된 지중부하이며, Case II, III, IV는 각각 수정된 대상배열구조 모델의 적용성을 검토하기 위해 사용된 지중부하이다. 부하 균형비는 연간 냉방 및 난방 총 지중부하를 합산하여 냉방부하가 차지하는 비율로 나타낸 것이며, 부하균형비가 '0'에 가까운 경우는 난방이, '1'에 가까울수록 냉방이 우세한 부하임을 의미한다.

[0091] 부하 균형비 0.58의 Case I은 냉방이 우세하나 냉방 및 난방 지중부하가 비교적 균형을 이루는 지중부하이다. Case II는 부하 균형비 0.43으로 난방이 우세하나, Case I과 마찬가지로 지중부하는 비교적 균형을 이룬다. Case II의 결과로 보아, 지중부하가 난방이 우세하더라도 냉방 및 난방 부하가 균형을 이루는 경우 수정된 대상배열구조 모델을 적용한 수정 모델과 HR모델의 EWT 평균오차는 Case I과 비슷한 수준의 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Case III 과 Case IV와 같이 부하균형비가 각각 0.86, 0.17로 냉방 또는 난방이 지배적인 경우에는 EWT 평균오차가 크게 증가함을 확인할 수 있다.

[0092] 상술한 바와 같이, 본 발명에서는 정형구조인 원통형 배열구조를 이용하여 비정형의 배열구조를 가지는 경우에 지중열교환기의 용량을 산정할 수 있는 방법에 대하여 제시한다. 본 발명에서 수확식 1 내지 4를 적용하여 지중열교환기의 용량을 산정하는 것이 가능한 경우는 S_t/S_d 값이 5.5 이하인 경우에 적합하다.

[0093] S_t/S_d 값이 5.5인 경우는 61개의 보어홀이 I형의 배열구조를 가지도록 배치된 경우에 해당되는 것으로, 이 경우는 보어홀 간격이 5m로 배열된 것이라 할지라도 305m 이상의 지중열교환기를 단일 시스템으로 운용하는 경우에 해당하므로, 일반적인 사례라고 보기 어렵다. 따라서, 본 발명은 S_t/S_d 값이 5.5 이하인 일반적인 사례에 해당되는 경우에 유효하게 적용될 수 있다.

[0094] 본 발명의 실시예에서는 속이빈 사각형 배열구조, U 자형 배열구조, L 자형 배열구조, 및 I 자형 배열구조를 가지는 대상배열구조를 원통형 배열구조로 수정하여 지중열교환기의 용량을 산정하는 방법에 대하여 설명하고 있으나, 속이빈 사각형 배열구조, U 자형 배열구조, L 자형 배열구조, 및 I 자형 배열구조를 포함하여 원통형 배열구조를 가지지 아니하는 모든 비정형 배열구조에 동일한 방식으로 적용하여 지중열교환기의 용량을 산정하는 것이 가능하다.

[0095] 상술한 바와 같은 본 발명에 의한 경우, 지열히트펌프 시스템의 주요 설계인자인 지중열교환기의 출구온도(EWT)가 설계조건에 부합하도록 최적화 알고리즘을 통해 지중 열교환기의 용량을 산출함에 의해, 지나친 투자비 상승을 최소화 또는 방지하고, 시스템 운영비 및 시스템 안정화의 최적화를 이룰 수 있는 장점이 있다. 또한, 비정형 배열구조를 가지는 경우에도 간단하면서도 용이하게 지중 열교환기의 용량을 산출하는 것이 가능하다.

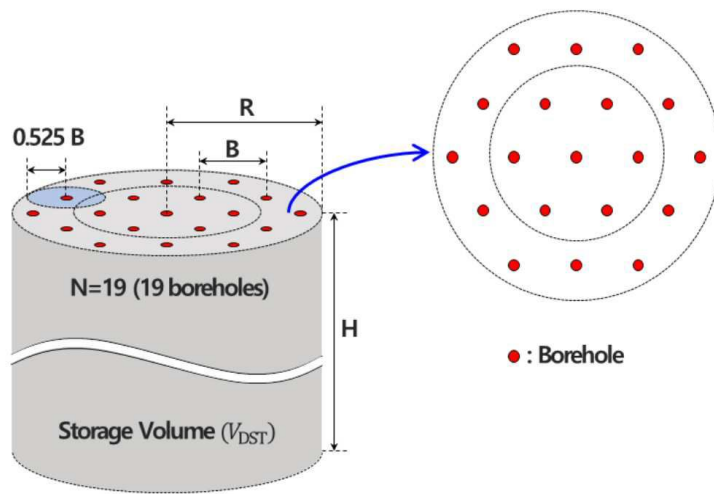
[0096] 상기한 실시예의 설명은 본 발명의 더욱 철저한 이해를 위하여 도면을 참조로 예를 든 것에 불과하므로, 본 발명을 한정하는 의미로 해석되어서는 안될 것이다. 또한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 본 발명의 기본적 원리를 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변화와 변경이 가능함은 명백하다 할 것이다.

부호의 설명

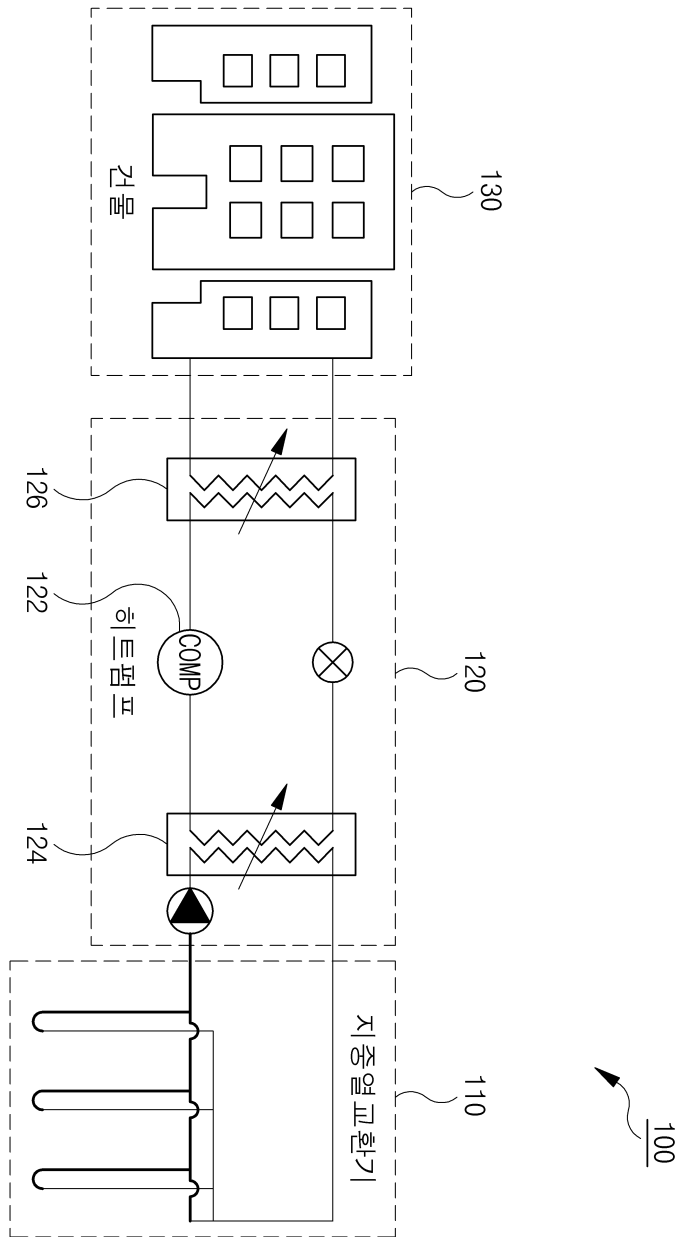
- [0097] 110 : 지중열교환기 120 : 히트펌프
 130 : 건물

도면

도면1



도면2



도면3

구분	원통형	사각형	U 자형	L 자형	I 자형
대상 배열 형태					
보어홀간격	B				
수정된 원통형 배열구조					
B_{opt}	$B=B_{opt}$	$< B_{opt_REC}$	$< B_{opt_U}$	$< B_{opt_L}$	$< B_{opt_I}$

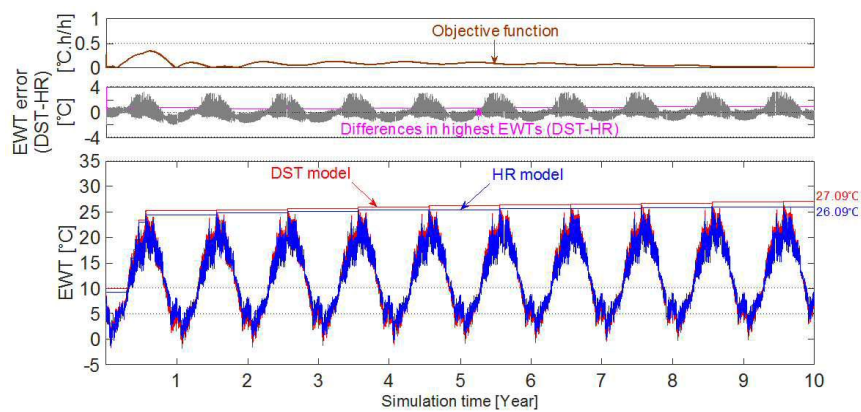
도면4

항목	입력값
수직밀폐형 지중열교환기	
보어홀 간격 [m]	5/6/7
보어홀 개수 [-]	19/37/61
보어홀 깊이 [m]	100
헤더 깊이 [m]	1
작동유체 밀도 [kg/m^3]	1022
작동유체 비열 [kJ/kg K]	3.96
작동유체 유량 [kg/s]	0.2/unit
파이프 열전도도 [W/mK]	0.4
뒤채움재 열전도도 [W/mK]	2
보어홀 반지름 [mm]	55
보어홀 내경/외경 [mm]	13/16
보어홀 중심간 거리 [mm]	47
지중 열 물성치	
열전도도 [W/mK]	2
열확산계수 [m^2/day]	0.08
지중 열용량 [$\text{kJ/m}^3\text{°C}$]	2160.5
초기온도 [°C]	10
히트펌프 성능계수	
냉방 COP [-]	4.7
난방 COP [-]	5
시뮬레이션 기간 [yr]	10

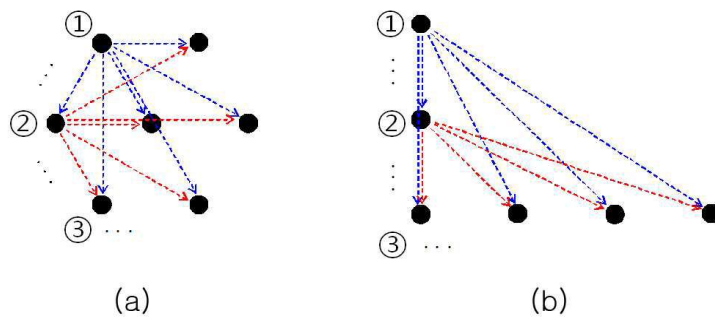
도면5

보어홀 간격 (B)	보어홀 개수 (N)	배열 형태	B _{opt} (m)	S _t (m)
5 m	19	사각형	7.867	321.6
		U 형	9.165	409.1
		L 형	9.620	494.9
		I 형	10.013	600.0
	37	사각형	9.585	1239.9
		U 형	10.345	1562.9
		L 형	10.530	1879.1
		I 형	10.720	2280.0
	61	사각형	10.445	3384.2
		U 형	10.905	4261.2
		L 형	11.010	5108.7
		I 형	11.120	6200.0
6 m	19	사각형	9.491	370.7
		U 형	10.804	491.0
		L 형	11.238	593.9
		I 형	11.605	720.0
	37	사각형	11.191	1487.8
		U 형	11.938	1875.5
		L 형	12.113	2254.9
		I 형	12.288	2736.0
	61	사각형	12.013	4061.1
		U 형	12.463	5114.0
		L 형	12.550	6130.5
		I 형	12.675	7440.0
7 m	19	사각형	11.025	455.9
		U 형	12.400	572.8
		L 형	12.794	692.9
		I 형	13.150	840.0
	37	사각형	12.731	1735.8
		U 형	13.438	2188.0
		L 형	13.600	2630.7
		I 형	13.769	3192.0
	61	사각형	13.506	4737.9
		U 형	13.950	5965.6
		L 형	14.050	7152.2
		I 형	14.144	8680.0

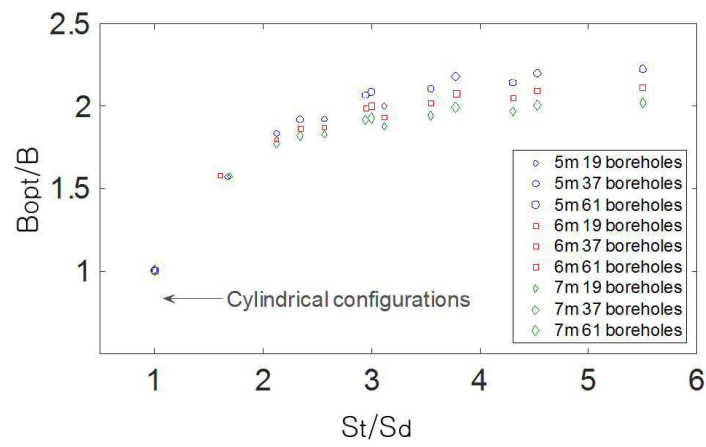
도면6



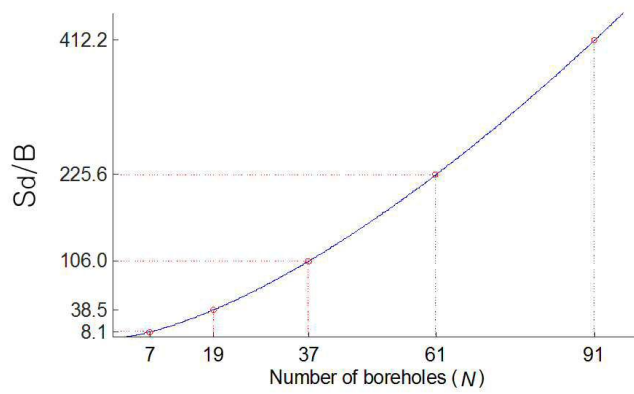
도면7



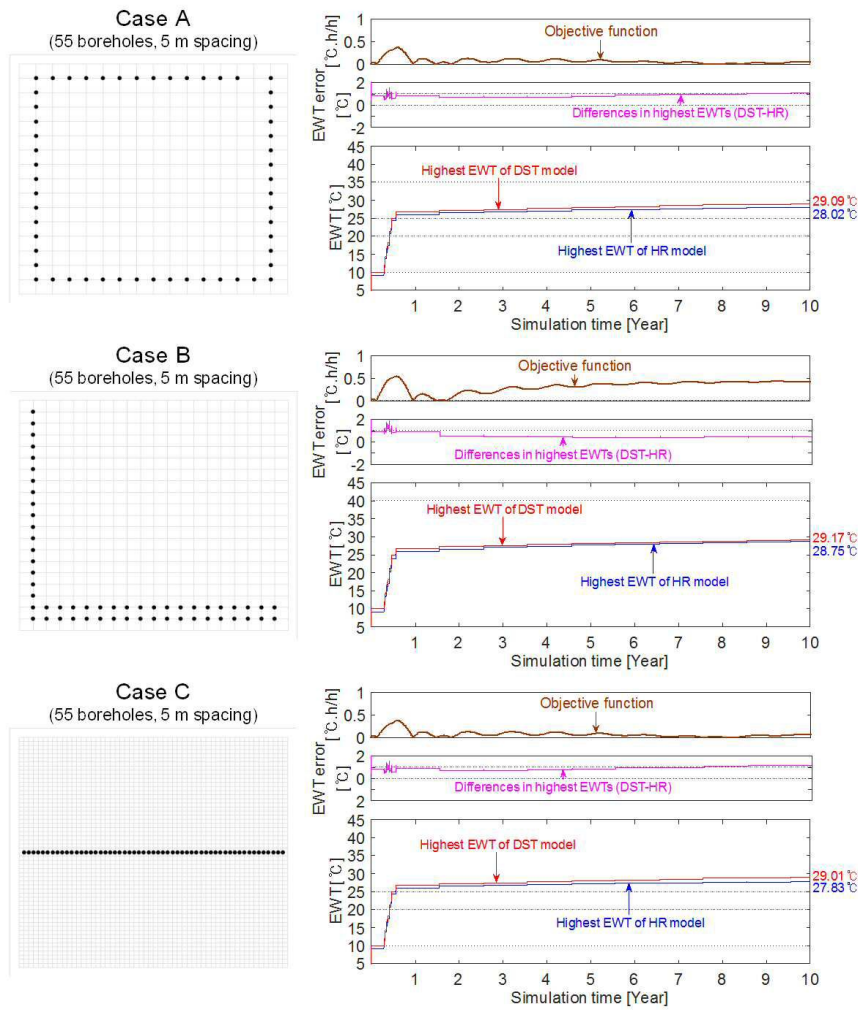
도면8



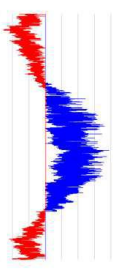
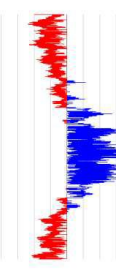
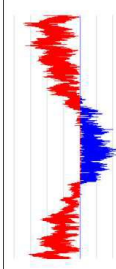
도면9



도면10



도면11

구분	최대 지중무하 (kW)		연간 총 지중무하 (MWh)		부하 균형 비	부하패턴	EWT 평균오차 (°C)		
	난방	냉방	난방	냉방			Case A	Case B	Case C
Case I	256.0	389.1	372.6	509.8	0.58		0.041	0.427	0.064
Case II	237.6	396.8	422.3	324.3	0.43		0.019	0.435	0.014
Case III	188.4	382.9	121.1	736.8	0.86		0.086	1.528	0.212
Case IV	343.3	232.6	750.1	150.2	0.17		0.058	1.569	0.185