(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년06월08일
(11) 등록번호 10-1524821
(24) 등록일자 2015년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F03G 7/04 (2006.01) *F24D 11/02* (2006.01)
F24J 3/08 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-7002243
(22) 출원일자(국제) 2008년07월03일
심사청구일자 2013년07월02일
(85) 번역문제출일자 2010년01월29일
(65) 공개번호 10-2010-0049052
(43) 공개일자 2010년05월11일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2008/002274
(87) 국제공개번호 WO 2009/007684
국제공개일자 2009년01월15일
(30) 우선권주장
0713177.4 2007년07월06일 영국(GB)
(56) 선행기술조사문헌
JP07198227 A
JP10288484 A
US04392531 A
JP2001289533 A

(73) 특허권자
그린필드 마스터 아이피씨오 리미티드
영국 제이이1 1에스지 저지 세인트 헬리어 유니온 스트리트 웨이벌리 플레이스 1
(72) 발명자
스튜어트 제임스 제이.
네덜란드 1862 이케이 프린스 헨드리클란 19
제이눌린 드미트리 아이
영국 런던 엔더블유6 1에이치알 크레디톤 힐 68 플랫 5
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박장원

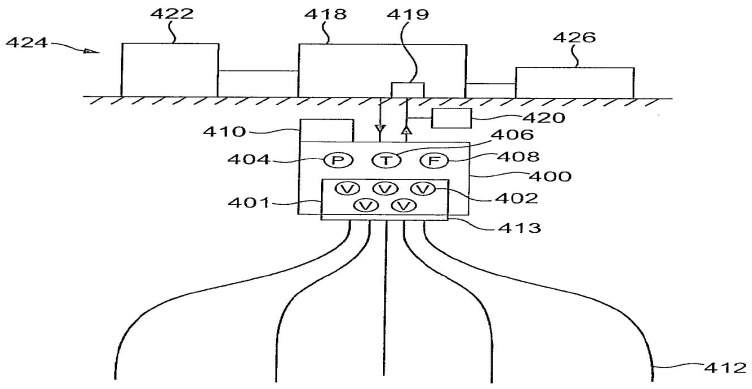
전체 청구항 수 : 총 18 항 심사관 : 경천수

(54) 발명의 명칭 **지열 에너지 시스템 및 작동 방법**

(57) 요 약

본 발명은 다수의 시추공 열 교환기를 포함하는 지열 에너지 시스템에 관한 것으로, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부와 이 폐쇄형 바닥 단부에서 서로 연결된 제1 및 제2 인접 세장형 동축 도관을 구비하는 세장형 튜브를 포함하고, 지열 에너지 시스템은 다수의 시추공 열 교환기가 연결된 작동 유체용 다기관과, 다수의 시추공 열 교환기와 다기관 사이에 연결된 다수의 밸브를 또한 포함하며, 다수의 시추공 열 교환기의 제1 및 제2 도관은 밸브의 동작에 의하여 다기관에 선택적으로 연결 가능하다.

대 표 도



(72) 발명자

스콧 안소니 시.

영국 버킹엄셔 에스엘2 3에이치엘 판함 코몬 그레인지 가든스 그레인지 코티지 1

뉴톤 그라하메

네덜란드 2191 에이시 데 질크 질케르비넨웨그 35

명 세 서

청구범위

청구항 1

건물의 난방 및 냉방 시스템에 연결되고 다수의 시추공 열 교환기와 제어 모듈을 포함하는 지열 에너지 시스템으로서,

각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부를 구비하는 세장형 튜브(elongate tube)를 포함하며,

제어 모듈은, 건물의 열 프로파일(thermal profile)에 따라서 다수의 시추공 열 교환기 내에 작동 유체를 선택적으로 분배하기 위하여, 다수의 시추공 열 교환기에 연결되어 있고,

제어 모듈은 다수의 시추공 열 교환기와 다기관(manifold) 사이에 연결된 다수의 밸브를 포함함으로써, 시추공 열 교환기는 밸브 작동에 의하여 다기관에 선택적으로 연결 가능하고,

밸브는 선택된 하나 이상의 시추공 열 교환기를 통하여 작동 유체의 선택적 통과를 가능하게 하도록 배치되어 있고,

다수의 시추공 열 교환기는 세장형 튜브의 중앙 지면 조립체로부터 지중으로 하방 및 측방으로 연장되어, 다수의 시추공 열 교환기를 둘러싸는 지열 에너지 시스템의 지반 용적을 획정하며, 중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 10% 미만인 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 5% 미만인 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 1% 미만인 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

제어 모듈은 건물의 건물 에너지 관리 시스템으로부터의 열 에너지 수요 프로파일에 응답하여 건물로부터의 또는 건물로의 열 에너지 공급을 제어하도록 구성된 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

밸브는 선택된 하나 이상의 시추공 열 교환기를 통하여 각 시추공 열 교환기를 따라 각각 선택된 방향으로 작동 유체의 선택적 통과를 가능하게 하도록 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기는 수직 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기는 수평 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제3 시추공 열 교환기는 경사진 방향으로 연장된 본체부를 구비하는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

시추공 열 교환기들 중 적어도 하나는 수직에 대하여 3도 내지 95도의 평균 경사를 가지는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

시추공 열 교환기들 중 적어도 하나는 수직에 대하여 30도 내지 60도의 평균 경사를 가진 본체부를 구비하는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

적어도 하나의 시추공 열 교환기는 수직에 대하여 45도 평균 경사를 가진 본체부를 구비하는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템.

청구항 10

건물의 난방 및 냉방 시스템에 연결된 지열 에너지 시스템을 작동하는 방법으로서, 지열 에너지 시스템은 다수의 시추공 열 교환기와 제어 모듈을 포함하고, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부를 구비하는 세장형 튜브를 포함하며,

건물의 열 프로파일에 따라서 다수의 시추공 열 교환기 내에 작동 유체를 선택적으로 분배하는 단계를 포함하고,

다수의 시추공 열 교환기에 연결된 제어 모듈이 다수의 시추공 열 교환기 내에 작동 유체를 선택적으로 분배하고,

제어 모듈은 다수의 시추공 열 교환기와 다기관 사이에 연결된 다수의 밸브를 포함함으로써, 시추공 열 교환기는 밸브의 작동에 의해 다기관에 선택적으로 연결 가능하며,

밸브는 선택된 하나 이상의 시추공 열 교환기를 통하여 작동 유체의 선택적 통과를 가능하게 하도록 배치되어 있고,

다수의 시추공 열 교환기는 세장형 튜브의 중앙 지면 조립체로부터 지중으로 하방 및 측방으로 연장되어, 다수의 시추공 열 교환기를 둘러싸는 지열 에너지 시스템의 지반 용적을 획정하며, 중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 10% 미만인 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 5% 미만인 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 1% 미만인 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

제어 모듈은 건물의 건물 관리 시스템으로부터의 열 에너지 수요 프로파일에 응답하여 건물로부터의 또는 건물

로의 열 에너지 공급을 제어하도록 구성된 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 14

제10항에 있어서,

밸브는 선택된 하나 이상의 시추공 열 교환기를 통하여 각 시추공 열 교환기를 따라 각각 선택된 방향으로 작동 유체의 선택적 통과를 가능하게 하도록 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 15

제10항에 있어서,

적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기는 수직 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기는 수평 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제3 시추공 열 교환기는 경사진 방향으로 연장된 본체부를 구비하는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 16

제10항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

시추공 열 교환기들 중 적어도 하나는 수직에 대하여 3도 내지 95도의 평균 경사를 가지는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

시추공 열 교환기들 중 적어도 하나는 수직에 대하여 30도 내지 60도의 평균 경사를 가진 본체부를 구비하는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

적어도 하나의 시추공 열 교환기는 수직에 대하여 45도 평균 경사를 가진 본체부를 구비하는 것을 특징으로 하는 지열 에너지 시스템 작동 방법.

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

청구항 89

삭제

청구항 90

삭제

청구항 91

삭제

청구항 92

삭제

청구항 93

삭제

청구항 94

삭제

청구항 95

삭제

청구항 96

삭제

청구항 97

삭제

청구항 98

삭제

청구항 99

삭제

청구항 100

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 지열 에너지 시스템 및 지열 에너지 시스템을 작동하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 지열 에너지는 1세기 이상 동안 동력 생성과 직접 난방을 위하여 다양한 형태로 세계적으로 이용되어 왔다. 전형적으로 이러한 시설은, 지표면이나 비교적 지표면 근방에 고엔탈피 공급원 암석(high enthalpy source rock)이 위치하는 화산 활동 지역, 예를 들면 미국 서부, 아이슬란드 또는 필리핀에 소재한다. 잘 알려져 있지는 않으나, 예를 들어 난방, 냉방 및 열 에너지 저장을 위하여 저온 터보-발전기(turbo-generator)의 적용 및 지열원 열 펌프(ground source heat pump, GSHP)의 사용에 의하여 저엔탈피 지열 자원을 개발하는 것에 대하여 중요성이 증가하고 있다.

[0003] 기본적인 관련 원리는 지표 아래의 대략 10m 미만의 지반 지층(ground formation) 내에 존재하는 안정적인 열 조건을 사용하는 것이다. 이러한 안정성은 지구의 질량 및 지구의 용융 중심부 내에서 유래하는 지열 열 유속에

기인한다. 이 열 유속은 모든 실용적 목적에 대하여 재생 가능하고 무한한데, 그 이유는 지구의 용융 중심부가 핵 분열에 의해 유지되기 때문이다. 지반에 삽입되고 지면의 열 펌프(단일-작동형 또는 가역형 구성)에 연결되며 열 전달 매체로서 작동 유체(working fluid)를 사용하는 관형 열 교환기에 의하여, 지반 지층은 제어된 조건하에서 다량의 열 에너지를 공급, 흡수 또는 저장할 수 있다.

[0004] 건물을 난방하기 위하여, 열 펌프와 조합된 하나 이상의 시추공 열 교환기(borehole heat exchanger, BHE)의 설치에 의하여 저온 지열 에너지를 추출하는 것은 알려져 있으며, 각 시추공 열 교환기는 지반 내에 설치된다. 시스템은 지반과 건물 내부 공간 사이에서 작동하는 가역 냉각 사이클을 이용한다. 작동 유체를 폐쇄 또는 개방 회로 내에 채용할 수 있는 다양한 특수 장치가 공지되어 있다. 그러한 시스템과 방법은 "지열원 열 펌프(GSHP)" 기술을 포함하는 것으로 당해 분야에 공지되어 있다.

[0005] 지열 에너지는 수년간 이용되어 왔다. 2006년에는 세계적으로 2백만에 가까운 설비가 존재하였으며 주로 소형 가정 주거지에 사용되었다.

[0006] 열 펌프 및 관련 난방/냉방 에너지 공급과 관리 시스템의 기본적인 개선을 제외하면, 지난 25년간 많은 연구들은 이러한 시스템에 이용되는 데에 필요한 시추공 열 교환기(BHE)의 설계와 작동에 관한 것이었다. BHE의 시공 비용과 열 효율은 설비의 경제적 성과에 중요한 영향을 미치므로, BHE는 GSHP 설비의 핵심적인 구성 요소이다. 개방 루프(open loop) 또는 폐쇄 루프 모드로 작동하는 수평 및 수직 설계를 포함하는 기본적인 여러 유형의 BHE가 이 기간 동안 개발되어 왔다.

[0007] 개방 루프 시스템은 전형적으로 공급원(source)으로부터 지하수 추출에 의존하며, 이 공급원은 지하 대수층(subsurface aquifer) 또는 호수 또는 강일 수도 있고, 추출 후에 물은 열 펌프를 통과한다. 이어서, 물은 지표면에서 처리되거나, 추출 시추공으로부터 소정 거리에 위치하는 전용 보조 시추공을 통해 대수층으로 다시 주입된다. 이러한 시스템은 본래 열 에너지 전달에 있어서 효율이 높지만, 부식 및 유지 비용을 최소화하기 위해서는 다방면의 대책이 마련되어야 한다. 또한, 이 시스템은 지하수를 추출한 후에 그 지역 환경 내로 방출하므로, 전형적으로 엄격한 환경 계획 관리가 필요하게 된다.

[0008] 이러한 이유로, 폐쇄 루프 시스템이 바람직하다.

[0009] 전형적인 수평 BHE 설계는 대략 지하 1m에 긴 트렌치(trench) 내에 매설된 소경 플라스틱 파이프의 코일[소위 "슬링키(slinky)"]로 이루어진 폐쇄 루프를 이용한다. 이러한 동기는 저비용이며, 필요한 토지 면적이 이용 가능한 경우에, 트렌치의 직선 미터당 최대 출력 전달 능력의 비로 측정된 합리적인 열 효율이 달성될 수 있다. 슬링키는 전형적으로 20W/m ~ 70W/m 범위로 작동한다.

[0010] 그러나, 몇몇 제약이 존재하기도 하는데, 특히 대용량 시스템이 규정된 경우에는, 필요한 토지 면적이 이용 가능하지 않은 경우가 흔히 있게 된다.

[0011] 또한, 지면으로부터 불과 대략 1m의 지하이므로, 수평형 BHE는 성능 저하를 야기할 수도 있는 지면 기후 조건에 민감하며, 특히 여름에 건물 냉방 시스템으로부터 열을 방출할 때에 그러하다. 그러나, 열 자원이 호수 또는 강과 같은 물인 경우에, 슬링키 시스템은 특별한 용도를 가진다.

[0012] 수직형 BHE는 착공 진입부와 최종 설비에 대하여 상당히 작은 표면 면적을 필요로 하므로 바람직하다. 북미와 유럽의 넓은 지역에서는, 수십 내지 수백 미터의 깊이의 범위에 이르는 시추공 내에 설치되고 일반적으로 그라우트(grout) 처리되는 U-튜브를 포함하는 수직형 BHE가 가장 바람직한 선택 방안으로서 채용되었는데, 그 이유는 주로 시공이 간단하고 비용이 비교적 낮기 때문이다. 이러한 BHE의 열 성능은 양호하게 설계된 슬링키 시스템에 필적하며, 동력 전달 값도 20W/m ~ 70W/m의 범위이다.

[0013] 시추공의 열적 안정성이 크다는 이점이 있지만, 이 설계에 있어서의 제약적 요인은, 외측 케이싱(outer casing)의 외측과 내측에 사용되는 그라우트의 양호하지 않은 열 전도도에 기인하는 비교적 높은 열 저항성과, U-튜브의 작은 표면 면적과, 시추공 벽과 U-튜브 사이의 거리이다.

[0014] U-튜브 설계의 변형 형태는 이중 U-튜브와 "기립 칼럼(standing column)" 배치를 포함하며, 이 경우에 U-튜브는 그라우트로 채워지는 것이 아니라 지하수로 채워질 수 있는 시추공 내에 현수된다. 기립 칼럼 설계는 시공 비용이 적고 그라우트 처리된 U-튜브보다 효율이 큰 경향이 있지만, 시추공 안정성과 환경 규정 때문에, 예를 들면 스칸디나비아와 같이 본질적으로 불투과성 경질 암석 지층이 존재하는 지역에 제한된다.

[0015] U-튜브 설계는 간단하고 명료하므로 수년간 GSHP 업계에서 표준으로 널리 채용되어 왔다. 그 결과, 대부분의 연구 및 개발이 U-튜브 설계에 집중되어 왔으며, 많은 전용 소프트웨어 및 하드웨어들이 시스템 설계자와 입안자

에게 저렴하게 널리 이용 가능하게 되었다.

[0016] 수직형 BHE의 다른 실시 형태는 "동축(co-axial)" 또는 "동심(concentric)" 형상으로서 다양하게 알려져 있다. 이는 그 기본적 형태가 튜브 내 튜브(tube-in-tube) 배열체이며, 시추공 벽을 라이닝하고 지지하는 데에 사용되는 외측 원통형 케이싱(casing)을 포함하고 이 케이싱 내에는 직경이 작은 조합형 배관체(tubing)가 설치되는데, 이 배관체는 개방 단부가 시추공의 바닥의 상방에 짧은 거리만큼 이격되도록 현수된다.

[0017] 이상적으로는, BHE 내의 열 및 유체 유동의 최적화가 용이하도록, 내측 배관체는 외측 케이싱의 구멍 내에 동심 정렬되지만, 반드시 그와 같이 구성되는 것은 아니다. 그 후에, 내측 배관체의 하방으로 그리고 내측 배관체와 외측 케이싱 사이의 환형부의 상방으로의 물 순환, 또는 고려된 설계에 따라서는 그 역방향으로의 물 순환에 의해서 폐쇄 루프가 형성된다. 열은 전도에 의해서 환형부 내의 수류에 전달되며, 수력학적 조건이 최적화되면, 외측 케이싱에 의해 제공되는 지반 지층과 물의 넓은 유효 접촉 면적에 의해 효율이 우수하다.

[0018] 동축 형상은 GSHP 업계에서 이제까지 널리 채용되고 있지는 않은 것으로 밝혀졌다. 그 이유는 자본 비용이 크고 U-튜브 설계에 비하여 복잡하다고 인식되었기 때문이다. 역사적으로는, 제한된 수의 동축 설비가 GSHP 시장에 대해 거의 모르는 원유 및 가스 및 우물 시추 도급자에 의해서만 시공되어 왔으며, 가격 구조가 불합리하고 개선이 이루어지지 않았다.

[0019] 결과적으로, 종래에는 GSHP 업계의 지원 하에 동축 시스템에 관하여 비교적 적은 연구와 개발이 이루어져 왔다. 그러나, 이제는 상황이 변화하여, 대용량 GSHP 설비의 요건에 부합되도록 BHE 효율을 높이려는 경향이 있다. 그 결과, 동축 설계의 본래의 장점이 더욱 주목을 받고 있다. 동일한 이유에서 동축 설계가 바람직한 대규모의 지열 저장 응용 분야에서도, 주요 연구 기관에 의하여 부분적으로 동축 설계가 추진되고 있다. 이제까지 일반적으로 대규모 설비로의 수직형 BHE의 적용은, 종래의 우물 시추 장비의 사용에 의해 전형적으로 50mm ~ 200mm의 깊이까지 시추되고 U-튜브로 마무리되는 수십 내지 수백 개의 시추공을 포함하는 대형 배열체(array)의 형태이었다.

[0020] 시추공들 사이에 열 상호 반응을 피하기 위한 최소 거리를 유지할 필요성이 있으므로, 상당한 지면 면적이 필요할 수 있다. 이러한 설계 방안의 시추 및 작동의 전체 효율은 전술한 이유에 의해 낮다.

[0021] 지난 25년간 다수의 BHE의 설계가 이루어져 왔다. 폐쇄 회로 GSHP 설비의 대부분은 수직형 BHE에 대하여 2가지 주요 실용적 설계를 활용하는데, 하나는 이른바 U-튜브(전형적으로 루프형의 가요성 플라스틱 파이프)이고 다른 하나는 동축(튜브 내 튜브) 설계이다. 동축 설계는 더욱 열 효율적인 기하학적 형상을 가지는 것으로 알려져 있지만, 시공 중에 중장비가 필요하기 때문에 대부분의 시공업자에게는 실용적이지 못하다. 그러나, 산업적 규모의 입안은 동축 설계를 지지할 수 있다. 이러한 2가지 유형의 BHE 모두는 전형적으로 부동액을 함유하는 물과 같은 작동 유체로 채워진다.

[0022] 현행 표준 공법은 수십 또는 수백 개의 얕은(예를 들면 100m) 시추공("U-튜브")을 시추하는 것 또는 수백 평방미터에 걸쳐서 얕은(1m ~ 2m) 트렌치("슬링키") 내에 수 킬로미터의 플라스틱 파이프를 설치하는 것을 포함한다. 현행 공법에 의해 야기되는 비용, 불편함 및 가용 토지 면적의 감소는 특히 영국 내에서 지열 에너지 응용 분야의 발달에 장애가 되어 왔다.

[0023] 최근에, 다수의 U-튜브 설비, 예를 들면 최대 6000개의 BHE를 필요로 하는 대규모 난방/냉방 요건을 가진 BHE 설비가 시공되었다. U-튜브 형태의 각 BHE 칼럼은 서로 간의 열 간섭을 제한하기 위하여 적어도 4m의 거리만큼 이웃하는 BHE와 분리될 필요가 있다. 동축 형상의 BHE는 열 효율이 증가하므로, BHE들 사이의 상호 거리는 더욱 커질 필요가 있다. 따라서, 산업적 규모 또는 상용 건물을 위한 모든 유형의 BHE 설비는, 필요한 모든 BHE들이 서로 간에 필요한 거리를 두고 설치되도록, 수 에이커(acre) 또는 수 헥타르(hectare)의 인접 가용 토지를 필요로 할 수도 있다.

[0024] 공지된 바에 따르면, 모든 유형의 다수의 수직형 BHE는 지반 내에 미리 결정된 깊이까지 서로 평행하게 시공된다. 수직 길이의 BHE들의 근접에 의해 각 BHE의 효율적 열 에너지 전달을 감소시키는 이른바 "간섭 페널티(interference penalty)"가 도입되고, 따라서 전체 설비의 열 효율이 감소한다.

[0025] 실제 건물에 또는 건물로부터 열 에너지를 수집하거나 분배하기 위하여, BHE 설비에 대하여 지면 수집기 시스템(surface collector system)이 제공된다. 그와 같은 지면 수집기 시스템은 지중 열 전달 공정을 위해 제공된 전체 수직 파이프 길이뿐만 아니라 100%까지의 여분의 길이의 파이프로 이루어질 수 있다. 이러한 부가적 지면 파이프는 열 에너지 및 압력 손실과 같은 일정한 작동 손실(operating loss)을 일으킨다. 이에 따라 작동 손실을 보상하기 위한 부가적 전기 에너지가 필요하게 될 뿐만 아니라, 광대한 지면 수집기 시스템의 시공과 보수를 위

한 비용도 증가하게 된다. 이는 오랜 기간 동안 대형 GSHP 설비에 있어서 제약적 요인이 되어 왔다.

[0026] 지열 에너지 시스템의 다양한 형태가 다수의 종래 기술 문헌에 개시되어 있으나, 개시된 시스템과 작동 방법은 다수의 기술적 문제점을 가지고 있다.

[0027] 예를 들면, 영국 공개 특허 공보 제1496075호[에르다 에너지(Erda Energy)]는 고온 유체를 저장소까지 양수하는 개방형 지열 갱정(geothermal well)을 개시하는 도 1 내지 도 4를 포함한다. 갱정은 밸브에 의해 개별적으로 개방될 수 있다. 그러나, 열 교환기는 존재하지 않는다. 이는 시추공 열 교환기를 포함하는 폐쇄 루프 시스템이 아니다. 도 5와 도 6은 시추공 열 교환기를 나타낸다. 그러나, 유체가 한 방향으로만 유동할 수 있으므로, 시스템은 응용에 있어서 매우 제한적이다. 또한, 열 교환기는 동일 경사를 가지고, 지면 조립체는 상당히 넓은 풋프린트(footprint)를 가진다. 양 또는 음의 열 수요에 따라서 열 교환기를 선택하는 것에 대해서도 전혀 개시되어 있지 않다. 개시된 장치는 열원이고, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기를 열원으로서 그리고 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기를 열 흡수부로서 선택적으로 사용하는 것에 대하여 개시되어 있지 않다. 이 문헌은 다수의 시추공 열 교환기 내에 열 에너지의 재분배에 대하여 개시하지 않고 있다.

[0028] 일본 특허 공개 공보 평9-60985호[스사와(Susawa)]는, 열 교환기를 이용하여 건물을 난방하거나 건물로부터 열을 제거하기 위한 지열 회수에 관한 것이 아니라, 예를 들면 눈을 녹이기 위해 열을 방출하기 위한 시스템을 개시한다. 지열 에너지를 회수하기 위하여 지반에 설치된 열 교환기는 수직형이다. 열 교환기는 수평형의 방열 튜브에 에너지를 방출한다. 열 교환기는 밸브에 의해 연결되어 있으나, 각 열 교환기를 통과하는 유체의 유동 방향 변경에 의하여 각 시추공 열 교환기가 개별적으로 소망 정도까지 난방 또는 냉방 모드로 선택적으로 구동될 수 있도록 도관이 밸브에 의해 다기관에 선택적으로 연결 가능한 구성에 대하여는 개시되어 있지 않다. 또한, 열 교환기는 경사가 동일하고, 지면 조립체는 풋프린트가 상당히 넓다.

[0029] 영국 특허 공개 공보 제2045909호[슈미트(Schmidt)]는 동축 시추공 열 교환기가 단일 유동 방향으로 작동되는 열 펌프 설비를 개시한다. 다수의 동축 열 교환기는 일정한 여러 각도를 가지며 반구의 별 형상으로 배열된다. 파이프는 균일하게 직선형이고 짧다. 양 또는 음의 열 수요에 따라서 다른 방향으로 향하는 교환기들을 선택적으로 연결하기 위하여, 여러 방향으로 선택적으로 압송(pumping)하는 것에 대해서는 개시되어 있지 않다. 개시된 장치는 열원이며, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기를 열원으로 그리고 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기를 열 흡수부로 선택적으로 사용하는 것에 대하여 개시되어 있지 않다.

[0030] 국제 공개 특허 공보 제82/02935호[조비(Jovy)], 독일 공개 특허 공보 제3048870호[노이만(Neumann)]와 제3114262호[벨테(Welte)] 및 일본 공개 특허 공보 소57-58024호[미사와(Misawa)]는 유사한 지열 열 펌프 설비를 열원으로서 개시하며, 방사형 또는 별 형상의 배열체 내에 균일하게 직선형의 짧은 시추공 열 교환기가 단일 유동 방향으로 구동된다.

[0031] 프랑스 공개 특허 공보 제2456919호[스벤스카 플락트파브리켄(Svenska Flaktfabriken)]는 방사형의 경사 튜브의 배열체를 구비하는 지열 시스템을 개시한다. 또한, 열 교환기들은 경사가 동일하고 지면 조립체는 풋프린트가 비교적 넓다. 지반으로부터 열을 회수하거나 지반으로 열을 전송하기 위하여 흡수기 장치가 작동될 수 있으나, 작동 유체를 위한 단일 회로가 존재하므로, 하나의 열 교환기가 열원으로서 작용할 수 있고 그와 동시에 다른 하나가 열 흡수부로 작용(따라서, 하나로부터 다른 하나로 열을 전달)할 수 있다는 점에 대해서는 개시되어 있지 않다. 따라서, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기를 열원으로 그리고 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기를 열 흡수부로 사용하는 것에 대하여 개시되어 있지 않다.

[0032] 유럽 공개 특허 공보 제1048820호[플로텍스(Flowtex)]는 단일 지반 스테이션과 결합된 단일 수직형 튜브에 연결된 무작위 상호 연결 튜브 시스템 또는 2개의 지반 스테이션 사이에 연장된 단일 튜브를 구비하는 지열 시스템을 개시한다. 지면 조립체는 풋프린트가 비교적 넓다. 다수의 열 교환기에 대한 다수의 방위에 대해서는 개시되어 있지 않다.

[0033] 국제 공개 특허 공보 제2007/097701호[에스이이시(SEEC)]는 작동 유체를 다수의 시추공 열 교환기 내로 향하도록 밸브를 제어하는 제어 기어를 구비한 난방/냉방 장치를 개시하며, 시추공 열 교환기들은 내측 및 외측 원 내에 존재하지만 건물의 온도 프로파일(thermal profile)을 따르지는 않는다. 제어 기어는 작동 유체를 재공급 모드(열 흡수부) 또는 회수 모드(열원)로 다수의 시추공 열 교환기 내에 분배하지만, 하나의 열 교환기가 열원으로 작용하고 그와 동시에 다른 하나가 열 흡수부로 작용(그에 따라 하나로부터 다른 하나로 열을 전달)하는 것에 대해서는 개시되어 있지 않다. 따라서, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기를 열원으로 그리고 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기를 열 흡수부로 선택적으로 사용하는 것에 대해서는 개시되어 있지 않다.

[0034] 영국 공개 특허 공보 제2434200호[록스부리(Roxbury)]는 지열 에너지 시스템용 열 교환기를 개시하지만, 열 교환기는 건물의 온도 프로파일에 따라서 다수의 시추공 열 교환기 내에 작동 유체를 분배하기 위한 제어 모듈을 구비하지 않는다. 열 교환기는 다수의 시추공 열 교환기 내에 작동 유체를 분배함으로써 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기를 열원으로 그리고 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기를 열 흡수부로 선택적으로 사용하기 위한 제어 모듈을 구비하지 않는다.

[0035] 프랑스 공개 특허 공보 제2817024호[솔테름(Solterm)]는 각도 구획부를 형성하는 배열체 내에 일정한 경사의 다수의 시추공 열 교환기를 구비하는 지열 시스템을 개시한다. 이웃하는 열 교환기는 경사가 다를 수도 있다. 파이프는 균일하게 직선형이고 짧다. 시추공 깊이, 하나의 시추공 내의 경사 변화, 또는 열 회수를 제어하도록 개별적으로 제어 가능한 여러 시추공의 경사 변화에 대해서는 개시되어 있지 않다. 또한, 양 또는 음의 열 수요에 따라서 다른 방향으로의 선택적 압송에 대하여 개시되어 있지 않다. 하나의 유동 방향만이 도시되어 있다. 열 펌프는 난방 모드 또는 역으로 공조 모드로 선택적으로 작동될 수 있다고 기재되어 있기는 하나, 열 교환기를 통한 순방향 및 역방향 압송에 대해서는 개시되어 있지 않다.

[0036] 유럽 공개 특허 공보 제1808570호[소일멕(Soilmec)]는, 초기 수직부로부터의 초기 곡률부와는 별도로, 수평부의 바로 위에 일정한 경사의 동축 시추공 열 교환기를 구비하는 지열 시스템을 개시한다. 시추공 깊이, 하나의 시추공 내의 경사 변화, 또는 열 회수를 제어하도록 개별적으로 제어 가능한 여러 시추공들 내의 경사 변화에 대해서는 개시되어 있지 않다. 또한, 양 또는 음의 열 수요에 따라서 다른 방향으로의 선택적 압송에 대하여 개시되어 있지도 않다. 하나의 유동 방향만이 도 1과 도 2의 폐쇄 시스템에 대하여 도시되어 있다. 그러나, 도 3과 도 4에 대해서는 유동 방향이 반전될 수 있다고 기재되어 있기는 하나, 외측 환형 도관으로부터 암반 내로 유체를 방출하기 위한 개방 시스템 내에서만 반전될 뿐이다.

[0037] 국제 공개 특허 공보 제03/069240호[보바스밀(Bobbasmill)]는, 선택적으로 열 흡수부 또는 열원으로 작용할 수 있는 단일 지열원을 포함하는 조합형 난방 및 냉방 유닛을 개시한다. 그러나, 다수의 시추공 열 교환기가 제공되고 그와 같은 하나의 시추공 열 교환기가 열원으로서 작용할 수 있고 그와 동시에 그와 같은 다른 하나의 시추공 열 교환기가 열 흡수부로서 작용(그에 따라 하나로부터 다른 하나로 열을 전달)할 수 있는 것에 대하여 개시되어 있지는 않다. 따라서, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기를 열원으로 그리고 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기를 열 흡수부로 선택적으로 사용하는 것에 대하여 개시되어 있지 않다.

[0038] 미국 특허 공보 제4134462호[클레이(Clay)]는 열원으로서 작용하는 지열 에너지 회수 시스템을 개시한다. 이 문헌은 다수의 시추공 열 교환기 내에서의 지열 에너지의 재분배에 대해 개시하고 있지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0039] 본 발명은 제한된 지면 장소로부터 지반 지층들 내로 하나 이상의 시추공 열 교환기를 연장하기 위한 방법과 장치를 제공하여, 저엔탈피 지열 에너지의 대규모 획득을 가능하게 하고, 지반 지층들을 열 에너지 저장부로 사용하여 산업적 용량의 잔여 에너지의 주입을 가능하게 하기 위한 것이다.

[0040] 또한 본 발명은, 기존 및 신축 건물 운용 시스템에 정밀하게 부합될 수 있고, 상당히 높은 효율, 낮은 탄소 배출 및 작은 지면 풋프린트로 산업적 규모 또는 지역 사회 기반의 규모의 다양한 범위의 건물에 공간 난방, 냉방, 환기 및 온수 공급을 제공하는 저엔탈피 지열 에너지 저장 및 회수 설비를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0041] 본 발명은, 다수의 시추공 열 교환기와, 다수의 시추공 열 교환기가 연결된 작동 유체용 다기관(manifold)과, 다수의 시추공 열 교환기와 다기관 사이에 연결된 다수의 밸브를 포함하는 지열 에너지 시스템을 제공하며, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부와 이 바닥 단부에서 서로 연결된 제1 및 제2 인접 세장형 도관을 구비하는 세장형 튜브(elongate tube)를 포함하며, 그에 따라 다수의 시추공 열 교환기의 제1 및 제2 도관은 밸브의 작동에 의해 다기관에 선택적으로 연결 가능하다.

[0042] 바람직하게는, 제1 도관은 관형이고, 환형인 제2 도관에 의해 둘러싸여 있다.

[0043] 바람직하게는, 제1 및 제2 도관 각각은 다기관 내에서 밸브에 연결되고, 그에 따라 다수의 시추공 열 교환기들 각각은 다수의 시추공 열 교환기들 중 다른 하나에 선택적으로 연결 가능하다.

[0044] 바람직하게는, 밸브는 선택된 하나 이상의 시추공 열 교환기를 통하여 각 시추공 열 교환기의 제1 및 제2 도관에 대하여 각각 선택된 방향으로 작동 유체의 선택적 통과를 가능하게 하도록 배치되어 있다.

[0045] 바람직하게는, 다수의 시추공 열 교환기는 세장형 튜브의 중앙 지면 조립체(central surface assembly)로부터 지중으로 하방 및 측방으로 연장되어, 다수의 시추공 열 교환기를 둘러싸는 지열 에너지 시스템의 지반 용적(ground volumn)을 획정하며, 중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적(footprint area)은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 10% 미만이다.

[0046] 바람직하게는, 중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 5% 미만이다.

[0047] 바람직하게는, 지열 에너지 시스템은, 다수의 시추공 열 교환기 내에 작동 유체를 선택적으로 분배하여 특정 열 에너지 출력 프로파일을 달성하기 위하여, 펌프와 밸브를 제어하기 위한 제어 모듈을 또한 포함한다.

[0048] 지열 에너지 시스템이 건물에 연결되어 있는 경우에, 제어 모듈은 건물의 건물 관리 시스템(building management system)으로부터의 열 에너지 수요에 응답하여 건물로부터의 또는 건물로의 열 에너지 공급을 제어하도록 구성된다.

[0049] 바람직하게는, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기는 실질적으로 수직 방향으로 연장된 본체부(major portion)를 구비하고, 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기는 실질적으로 수평 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제3 시추공 열 교환기는 실질적으로 경사진 방향으로 연장된 본체부를 구비한다.

[0050] 바람직하게는, 시추공 열 교환기들 중 적어도 하나는 수직에 대하여 3도 내지 95도의 평균 경사를 가진다.

[0051] 바람직하게는, 시추공 열 교환기들 중 적어도 하나는 수직에 대하여 10도 내지 90도의 평균 경사를 가진 본체부를 구비한다.

[0052] 바람직하게는, 시추공 열 교환기들 중 적어도 하나는 수직에 대하여 30도 내지 60도의 평균 경사를 가진 본체부를 구비한다.

[0053] 바람직하게는, 적어도 하나의 시추공 열 교환기는 수직에 대하여 대략 45도 평균 경사를 가진 본체부를 구비한다.

[0054] 선택적으로, 시추공 열 교환기들 중 적어도 일부는 각각 수직에 대하여 3도 내지 45도, 더욱 전형적으로는 5도 내지 20도의 경사를 가지는 적어도 경사형 최상측 부분(slanted uppermost portion)을 구비하고, 그러한 경사형 최상측 부분은 배열체의 지면 아래 영역에서 이웃하는 경사형 최상측 부분으로부터 분기(divergence)한다.

[0055] 선택적으로, 시추공 열 교환기들 중 적어도 일부는 각각 수직에 대하여 경사가 변화하며, 경사가 변화하는 시추공 열 교환기들은, 직선형 최상측 부분(linear uppermost portion) 아래에, 경사가 점진적으로 변화하는 적어도 일부분 또는 서로 경사진 적어도 2 부분을 구비한다. 이는 지면 아래의 초기 영역에서 시추공 열 교환기의 대부분의 길이를 따라서 시추공 경사를 변화시키는 구성을 제공한다.

[0056] 본 발명은 다수의 시추공 열 교환기와, 다수의 시추공 열 교환기에 연결된 다수의 밸브와, 다수의 열 교환기를 통해 작동 유체를 압송하기 위한 펌프를 포함하는 지열 에너지 시스템을 또한 제공하며, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부와 이 바닥 단부에서 서로 연결된 제1 및 제2 인접 세장형 동축 도관을 구비하는 세장형 튜브를 포함하며, 제1 도관은 관형이고, 환형인 제2 도관에 의해 둘러싸이고, 밸브와 펌프는 선택된 하나 이상의 시추공 열 교환기를 통하여 각 시추공 열 교환기의 제1 및 제2 도관에 대하여 각각 선택된 방향으로 작동 유체를 선택적으로 통과시키도록 배치된다.

[0057] 본 발명은 다수의 시추공 열 교환기를 포함하는 지열 에너지 시스템을 제공하며, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부를 구비하는 세장형 튜브를 포함하며, 다수의 시추공 열 교환기는 세장형 튜브의 중앙 지면 조립체로부터 지중으로 하방 및 측방으로 연장되어, 다수의 시추공 열 교환기를 둘러싸는 지열 에너지 시스템의 지반 용적을 획정하며, 중앙 지면 조립체의 풋프린트 면적은 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트 면적의 10% 미만이다.

[0058] 바람직하게는, 중앙 지면 조립체는 시추공 열 교환기의 상측 단부가 부착되어 있는 강성 구조체를 포함한다.

[0059] 바람직하게는, 각 시추공 열 교환기의 대부분의 길이는 다른 시추공 열교환기로부터 열적으로 독립하도록 서로 이격되어 있다.

[0060] 바람직하게는, 각 시추공 열 교환기의 대부분의 길이는 다른 시추공 열교환기로부터 적어도 4m의 거리만큼 이격되어 있다.

[0061] 바람직하게는, 시추공 열 교환기들 중 적어도 하나의 수직 깊이는 적어도 5m, 더욱 바람직하게는 10m이다.

[0062] 바람직하게는, 시추공 열 교환기들 중 적어도 하나의 수직 깊이는 적어도 100m이다.

[0063] 본 발명은 건물의 난방 및 냉방 시스템에 연결된 지열 에너지 시스템을 제공하며, 지열 에너지 시스템은 다수의 시추공 열 교환기를 포함하고, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부를 구비하는 세장형 튜브를 포함하며, 지열 에너지 시스템은 건물의 열 프로파일에 따라서 다수의 시추공 열 교환기 내에 작동 유체를 선택적으로 분배하기 위하여 다수의 시추공 열 교환기에 연결되어 있는 제어 모듈을 또한 포함한다.

[0064] 바람직하게는, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기는 실질적으로 수직 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기는 실질적으로 수평 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제3 시추공 열 교환기는 실질적으로 경사진 방향으로 연장된 본체부를 구비한다.

[0065] 본 발명은 건물의 난방 및 냉방 시스템에 연결된 지열 에너지 시스템을 작동하는 방법을 또한 제공하며, 지열 에너지 시스템은 다수의 시추공 열 교환기를 포함하고, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부를 구비하는 세장형 튜브를 포함하며,

[0066] 본 발명의 방법은 건물의 열 프로파일에 따라서 다수의 시추공 열 교환기 내에 작동 유체를 선택적으로 분배하는 단계를 포함한다.

[0067] 본 발명은 다수의 시추공 열 교환기를 포함하는 지열 에너지 시스템을 작동하는 방법을 제공하며, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부와 이 바닥 단부에서 서로 연결된 제1 및 제2 인접 세장형 도관을 구비하는 세장형 튜브를 포함하며, 지열 에너지 시스템은 다수의 시추공 열 교환기가 연결된 작동 유체용 다기관과, 다수의 시추공 열 교환기와 다기관 사이에 연결된 다수의 밸브를 또한 포함하며,

[0068] 본 발명의 방법은 다수의 시추공 열 교환기의 제1 및 제2 도관을 밸브의 작동에 의해 다기관에 선택적으로 연결하는 단계를 포함한다.

[0069] 본 발명은 다수의 시추공 열 교환기를 포함하는 지열 에너지 시스템을 작동하는 방법을 또한 제공하며, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고 폐쇄형 바닥 단부를 구비하는 세장형 튜브를 포함하고, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기는 실질적으로 수직 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기는 실질적으로 수평 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 적어도 하나의 제3 시추공 열 교환기는 실질적으로 경사진 방향으로 연장된 본체부를 구비하고, 지열 에너지 시스템은 다수의 시추공 열 교환기가 연결된 작동 유체용 다기관을 또한 포함하며,

[0070] 본 발명의 방법은 양 또는 음의 열 수요(heat demand)에 따라서 밸브의 작동에 의해 적어도 하나의 제1, 제2 및 제3 시추공 열 교환기를 다기관에 선택적으로 연결하는 단계를 포함한다.

[0071] 본 발명은 다수의 시추공 열 교환기와, 다수의 시추공 열 교환기에 연결된 다수의 밸브와, 다수의 열 교환기를 통해 작동 유체를 압송하기 위한 펌프를 포함하는 지열 에너지 시스템을 작동하는 방법을 또한 제공하며, 각 시추공 열 교환기는 작동 유체를 수용하고, 폐쇄형 바닥 단부와 이 바닥 단부에서 서로 연결되어 인접한 제1 및 제2 세장형 동축 도관을 구비하는 세장형 튜브를 포함하고, 제1 도관은 관형이고, 환형인 제2 도관에 의해 둘러싸이고,

[0072] 본 발명의 방법은 선택된 하나 이상의 시추공 열 교환기를 통하여 각 시추공 열 교환기의 제1 및 제2 도관에 대하여 각각 선택된 방향으로 작동 유체를 선택적으로 통과시키는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0073] 특히, 본 발명의 바람직한 실시 형태는, 제한된 지면 장소로부터 지반 지층(ground stratum)들 내로 하나 이상의 시추공 열 교환기를 연장하기 위한 방법과 장치에 관한 것이며, 저엔탈피 지열 에너지의 대규모 획득(harvesting)을 가능하게 하고, 선택적으로, 지반 지층들을 열 에너지 저장부로 사용하여 산업적 용량의 잔여 에너지의 주입(injecting)을 가능하게 한다.

[0074] 본 발명의 바람직한 실시 형태는, 기존 및 신축 건물 운용 시스템에 정밀하게 부합될 수 있고, 상당히 높은 효율, 낮은 탄소 배출 및 작은 지면 풋프린트(surface footprint)로 산업적 규모 또는 지역 사회 기반의 규모의

다양한 범위의 건물에 공간 난방, 냉방, 환기 및 온수 공급을 제공하는 저엔탈피 지열 에너지 저장 및 회수(retrieval) 설비를 제공한다. 또한, 설비는 관련 건물의 시간적인 난방 및 냉방 요건에 따라서 주로 열 에너지 공급부, 흡수부 또는 저장부로서 선택적으로 작동될 수 있다.

[0075] (a) 소정 시추공 열 교환기 내에 선택된 방향으로 유체 유동을 일으키고, 그리고/또는 (b) 다수의 시추공 열 교환기들 어느 것이 우선 또는 선택된 유체 유동 방향으로 작동되어야 하는지를 선정하고, 그리고/또는 (c) 다수의 폐쇄 루프 시추공 열 교환기 내에서 소정 시추공 열 교환기 및/또는 다수의 시추공 열 교환기에 여러 경사를 제공하는 것이 선택적으로 가능한 시스템 내에 다수의 폐쇄 루프 시추공 열 교환기를 제공함으로써, 제어 가능한 열적 특성을 가진 열 에너지 공급부, 흡수부 또는 저장부를 선택적으로 구성할 수 있고 상당히 다용성이고 에너지 효율적인 시스템이 제공된다.

[0076] 설비는 가용 에너지 보존을 위하여 인접한 건물들 사이에 효율적 열 에너지 교환 및 기능을 또한 제공한다. 또한, 설비는 지하 대수층, 인접 저수부(water reservoir) 또는 양수(water pumping) 시스템과 같은 부가적인 열 에너지 공급부 또는 흡수부를 또한 포함할 수 있고, 다른 재생 가능한 에너지원 및 다른 난방 또는 냉방 부하와 용이하게 조합되어 전체 탄소 배출량을 더욱 감소시킨다.

도면의 간단한 설명

[0077] 첨부 도면을 참조하여, 본 발명의 실시 형태에 대하여 단지 예시적으로 설명하기로 한다.

도 1은 본 발명의 제1 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기들의 배열의 개략적 사시도이다.

도 2는 본 발명의 제2 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기들의 배열의 개략적 사시도이다.

도 3은 본 발명의 제3 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기들의 배열의 개략적 사시도이다.

도 4는 본 발명의 제4 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기들의 배열의 개략적 사시도이다.

도 5는 본 발명의 제5 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기들의 배열의 개략적 사시도이다.

도 6은 본 발명의 제6 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기들의 배열의 개략적 평면도이다.

도 7은 본 발명의 제7 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기들의 배열의 개략적 평면도이다.

도 8은 본 발명의 제8 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 지면 조립체의 풋프린트의 면적과 지반 용적의 풋프린트 면적 사이의 관계를 나타내는 개략적 평면도이다.

도 9는 본 발명의 제9 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 시추공을 따르는 측정 깊이와 실제 수직 깊이 사이의 관계를 나타내는 개략적인 평면도이다.

도 10은 본 발명의 제10 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기를 위한 갱정 프로파일(well profile)을 나타내는 개략적 수직면도이다.

도 11은 본 발명의 제11 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기를 위한 또 다른 여러 갱정 프로파일을 나타내는 개략적 수직면도이다.

도 12의 (a), (b) 및 (c)는 본 발명의 다른 실시 형태에 따른 시추공 지열 에너지 시스템의 다수의 시추공 열 교환기를 위한 클러스터 패드(cluster pad)를 각각 나타내는 개략도이다.

도 13의 (a), (b), (c), (d), (e) 및 (f)는 본 발명의 다른 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 다수의 시추공 열 교환기를 위한 배열 형상을 각각 나타내는 개략적 평면도이다.

도 14의 (a)와 (b)는 본 발명의 다른 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 중앙 다기관 유닛을 나타내는 개략도이다.

도 15는 본 발명의 여러 실시 형태에 사용되는 시추공 열 교환기의 실시 형태의 구조를 상세히 나타내는 도면이다.

도 16은 본 발명의 또 다른 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템을 나타내는 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0078] 본 발명의 바람직한 실시 형태의 시스템의 핵심은 밀집형 배열(compact array) 또는 복합형 배열의 시추공 열 교환기(BHE)이며, 시추공 열 교환기는 동축인 것이 가장 바람직하고, 사용 중인 건물 근방의 소형 패드 또는 패드들, 바람직하게는 콘크리트의 패드를 포함하는 강성 구조체로부터 방향성 시추(directional drilling)된 시추공들 내에 배치된다. 주 목적이 공간 냉방, 난방 또는 양자 모두를 제공하기 위한 것인지에 따라서, 시추공 열 교환기는 지하 지층(subsurface formation) 내에 수직으로, 경사지게 또는 수평으로 설치될 수 있다.

[0079] 최적 냉방은 얕은 수평형 시추공 열 교환기에 의해 제공되고, 최적 난방은 깊은 수직형 시추공 열 교환기에 의해 제공되고, 난방과 냉방의 최적 조합은 수직으로부터 소정 각도(가장 전형적으로는 45도)로 경사진 시추공 열 교환기에 의해 제공된다. 또한, 각 시추공 열 교환기는 설계 요건에 따라서 지면 아래의 소정 지점에서 2 이상으로 분기[다수의 다리(leg) 형태로 완공]될 수 있다.

[0080] 바람직한 실시 형태의 시추공 열 교환기 배열의 설계에 있어서, 그 지역의 지반 지층의 특성인 층리면(bedding plane)의 공간적 방향, 공극 및 투과성, 특히 대형 파단부(fracture)가 또한 고려된다. 이러한 방안은, 지하수 저류(groundwater accumulation)와 지중 유출(subsurface flow)을 활용하는 가장 바람직한 방향으로 지층과 물리적으로 접촉하도록 시추공을 시추함으로써, 시추공 열 교환기의 열 효율을 향상시킬 가능성을 제공한다.

[0081] 시추공 열 교환기의 전형적인 수직 깊이 범위는 지표면(ground level) 아래로 10m 내지 750m이지만, 더 깊은 깊이도 가능하다. 시추공 열 교환기 배열에 있어서, 전형적으로 적어도 하나의 시추공 열 교환기는 적어도 100m에서 750m에 이르는 수직 깊이까지 연장된다.

[0082] 도 1을 참조하면, 본 발명의 제1 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 배열체가 개략적으로 도시되어 있다. 배열체(2)는 2차원적이고 7개의 시추공 열 교환기(4, 6, 8, 10, 12, 14, 16)를 포함하며, 각각은 상측 단부가 중앙 공통 다기관 유닛(18)에 부착된다. 바람직하게는, 각 시추공 열 교환기(4, 6, 8, 10, 12, 14, 16)는 당해 분야에 공지되어 있고 여기에서 논의되는 바와 같이 동축 구조를 가진다. 각 시추공 열 교환기(4, 6, 8, 10, 12, 14, 16)는 다기관 유닛(18)으로부터 하방으로 실질적으로 수직으로 연장된 제1 상측 부분(A)과, 다기관 유닛(18)으로부터 하방의 측방으로 멀어지게 연장되고 전형적으로 수직으로부터 30도 내지 60도, 더욱 바람직하게는 45도로 완만하게 경사진 제2 중간 부분(B)과, 다기관 유닛(18)으로부터 하방의 측방으로 더욱 멀어지게 연장되고 전형적으로 수직으로부터 60도 초과의 각도로 실질적으로 급격하게 경사진 제3 하측 부분(C)을 구비한다. 여러 부분들의 길이와 경사는 소정의 시추공 열 교환기에 대하여 그리고 시추공 열 교환기들 간에 변경될 수 있다. 배열체(2)는, 각 시추공 열 교환기가 실질적으로 열적으로 독립하도록 시추공 열 교환기들 사이의 상호 간격이 이루어지게 구성되고 치수가 설정된다. 전형적으로, 하측 부분(C)의 하측 단부(20, 22, 24, 26, 28, 30, 32)는 적어도 20m 서로 이격되고, 배열체(2) 전체의 측방향 폭은 적어도 120m이다. 시추공 방향과 관련하여 원유 및 가스 시추 기술 분야에 공지되어 있는 방향성 시추(directional drilling)에 관한 용어를 사용하여, 상측 부분(A)을 각도 형성 구획부(angle build section)로 칭하고, 중간 부분(B)을 각도 유지(angel hold) 구획부로 칭하고, 하측 부분(C)을 각도 감소(angle drop off) 구획부로 칭하기로 한다.

[0083] 도 2를 참조하면, 본 발명의 제2 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 배열체가 개략적으로 도시되어 있다. 배열체는 3차원적이고 5개의 동축 시추공 열 교환기(36, 38, 40, 42, 44)를 포함하며, 각각의 상측 단부는 바람직하게는 콘크리트인 패드(46) 형태의 강성 구조체에 부착되고, 이 패드에는 중앙 공통 다기관 유닛(도시 생략)이 부착된다. 중앙 시추공 열 교환기(40)는 전체 길이에 걸쳐서 패드(46)로부터 실질적으로 수직하게 하방으로 연장되며, 전체 길이는 전형적으로 적어도 150m이다. 나머지 4개의 시추공 열 교환기(36, 38, 42, 22)는 정사각형 형태로 실질적으로 대칭 배열되고, 각 시추공 열 교환기는 패드(46)로부터 실질적으로 수직하게 하방으로 연장된 제1 상측 부분(A)과, 패드(46)로부터 멀어지게 하방의 측방으로 연장되고 실질적으로 완만하게 경사진 제2 중간 부분(B)과, 패드(46)로부터 더욱 멀어지게 하방의 측방으로 연장되고 실질적으로 급격하게 경사진 제3 하측 부분(C)을 구비한다. 시추공 열 교환기에 있어서 여러 부분들의 길이와 경사는 변경될 수 있다. 배열체(34)는, 각 시추공 열 교환기가 실질적으로 열적으로 독립하도록 열교환기들 사이의 상호 간격이 이루어지게 구성되고 치수가 설정된다. 전형적으로, 시추공 열 교환기(36, 38, 42, 44)의 하측 부분(C)의 하측 단부(46, 48, 50, 52)는 사각형 형상의 변을 따라 적어도 100m만큼 서로 이격되고, 사각형 형상의

대각선은 적어도 200m만큼 서로 이격된다.

[0084] 도 3을 참조하면, 본 발명의 제3 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 배열체가 개략적으로 도시되어 있다. 배열체(54)는 3차원적이고 4개의 동축 시추공 열 교환기(56, 58, 60, 62)를 포함하며, 각 시추공 열 교환기의 상측 단부는 바람직하게는 콘크리트인 패드(64) 형태의 강성 구조체에 부착되고, 패드에는 중앙 공통 다기관 유닛(도시 생략)이 부착된다. 4개의 시추공 열 교환기(56, 58, 60, 62)는 실질적으로 공통 방향으로 향하는 부채(fan) 형상으로 배열되며, 각각은 패드(64)로부터 실질적으로 수직하게 하방으로 연장되는 제1 상측 부분(A)과, 패드(64)로부터 멀어지게 하방의 측방으로 연장되고 실질적으로 경사진 제2 중간 부분(B)과, 패드(64)로부터 더욱 멀어지게 측방으로 연장되고 실질적으로 수평인 제3 하측 부분(C)을 구비한다. 시추공 열 교환기에 대하여 여러 부분의 길이와 경사는 변경될 수 있다. 배열체(54)는, 각 시추공 열 교환기가 실질적으로 열적으로 독립하도록 시추공 열 교환기들 간에 상호 간격이 이루어지게 구성되고 치수가 설정된다. 전형적으로, 시추공 열 교환기(56, 58, 60, 62)의 하측 부분(C)의 하측 단부(66, 68, 70, 72)는 적어도 20m만큼 서로 이격되고, 시추공 열 교환기(56, 58, 60, 62)의 깊이는 적어도 150m이고, 시추공 열 교환기(56, 58, 60, 62)의 패드(64)로부터 멀어지는 측방향 크기는 적어도 100m이다.

[0085] 도 4를 참조하면, 본 발명의 제4 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 배열체가 개략적으로 도시되어 있다. 배열체는 3차원적이고 6개의 동축 시추공 열 교환기(76, 78, 80, 82, 84, 86)를 포함하며, 각 시추공 열 교환기의 상측 단부는 바람직하게는 콘크리트인 패드(88) 형태의 강성 구조체에 부착되고, 패드에는 중앙 공통 다기관 유닛(도시 생략)이 부착된다. 6개의 시추공 열 교환기(76, 78, 80, 82, 84, 86)는, 패드(88)로부터 실질적으로 방사상으로 연장되고 서로 등간격으로 이격된 별(star)과 같은 형상으로 배열된다. 각 시추공 열 교환기(76, 78, 80, 82, 84, 86)는 패드(88)로부터 실질적으로 수직하게 하방으로 연장된 제1 상측 부분(A)과, 패드(88)로부터 하방의 측방으로 멀어지게 연장되고 실질적으로 경사진 제2 하측 부분(B)을 구비한다. 시추공 열 교환기(76, 78, 80, 82, 84, 86)는 실질적으로 L 형상이고, 제2 하측 부분(B)은 냉방 요건을 만족하도록 실질적으로 수평형이다. 시추공 열 교환기에 대하여 여러 부분의 길이와 경사는 변경될 수 있다. 배열체(74)는, 각 시추공 열 교환기가 실질적으로 열적으로 독립하도록 시추공 열 교환기들 간에 상호 간격이 이루어지게 구성되고 치수가 설정된다. 전형적으로 시추공 열 교환기(76, 78, 80, 82, 84, 86)의 하측 부분(B)의 하측 단부(90, 92, 94, 96, 98, 100)는, 시추공 열 교환기(76, 78, 80, 82, 84, 86)의 깊이가 적어도 50m가 되도록 서로 이격되고, 배열체(74)의 전체 측방향 크기는 적어도 200m이다.

[0086] 도 5를 참조하면, 본 발명의 제5 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 배열체가 개략적으로 도시되어 있다. 배열체(102)는 3차원적이고 4개의 동축 시추공 열 교환기(104, 106, 108, 110)를 포함하며, 각 시추공 열 교환기의 상측 단부는 바람직하게는 콘크리트인 패드(112) 형태의 강성 구조체에 부착되고, 패드에는 중앙 공통 다기관 유닛(도시 생략)이 부착된다. 4개의 시추공 열 교환기(104, 106, 108, 110)는 길이를 따라 실질적으로 정렬된 실질적으로 선형 형상으로 배열되며, 각각은 패드(112)로의 초기 예각 연결부(initial sharply angled connection)(114) 이외에 패드(112)로부터 하방의 측방으로 멀어지게 연장되는 실질적인 단일 경사 부분을 구비한다. 시추공 열 교환기의 길이와 경사는 변경될 수 있다. 배열체(112)는, 각 시추공 열 교환기가 실질적으로 열적으로 독립하도록 시추공 열 교환기들 간에 상호 간격이 이루어지게 구성되고 치수가 설정된다.

[0087] 도 6을 참조하면, 본 발명의 제6 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 배열체가 개략적으로 도시되어 있다. 배열체(116)는 3차원적이고 6개의 동축 시추공 열 교환기(118, 120, 122, 124, 126, 128)(도시되지 않은 다른 시추공 열 교환기가 제공될 수도 있음)를 포함하며, 각각의 상측 단부는 바람직하게는 콘크리트인 패드(138)에 부착되고, 패드에는 중앙 공통 다기관 유닛(도시 생략)이 부착된다. 6개의 시추공 열 교환기(118, 120, 122, 124, 126, 128)는 패드(138)로부터 실질적으로 반경 반향으로 멀어지게 연장되는 별과 같은 형상으로 배열된다. 각 시추공 열 교환기(118, 120, 122, 124, 126, 128)는, 예를 들면 전술한 도 4의 실시 형태의 수직 및 경사 형상을 가질 수 있다. 이 실시 형태에서, 6개의 시추공 열 교환기(118, 120, 122, 124, 126, 128)의 외측 방향, 특히 반경 방향의 크기는 변화한다. 반경 방향의 크기는 점증 반경의 다수의 구역으로 분할된다. 예를 들면, 구역 1은 반경이 30m 미만이고, 구역 2는 적어도 30m, 구역 3은 적어도 55m, 구역 4는 적어도 65m, 구역 5는 적어도 85m이다. 6개의 시추공 열 교환기(118, 120, 122, 124, 126, 128)는 여러 구역들 내로 연장되며, 바람직하게는 각 시추공 열 교환기(118, 120, 122, 124, 126, 128)는 각각 다른 구역들 내로 연장된다. 이와 같은 방식으로 배열체(116)는 각 시추공 열 교환기가 실질적으로 열적으로 독립하도록 시추공 열 교환기들 간의 상호 간격이 이루어지게 구성되고 치수가 설정된다.

[0088] 도 7을 참조하면, 본 발명의 제7 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 배열체가 개략적

으로 도시되어 있다. 배열체(132)는 3차원적이고 4개의 동축 시추공 열 교환기(134, 136, 138, 140)를 포함하며, 각 시추공 열 교환기의 상측 단부는 바람직하게는 콘크리트의 패드(142)에 부착되고, 패드에는 중앙 공통 다기관 유닛(도시 생략)이 부착된다. 4개의 시추공 열 교환기(134, 136, 138, 140)는, 지열 에너지 시스템에 의해 운용될 건물(146)을 포함하는 토지(property)의 경계(144) 내에 외측이 둘러싸이는 형상으로 배열된다. 따라서, 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트(footprint)는 토지 경계 내에 수용된다. 패드(142)는 건물(146)에 이웃하게 배치되고, 따라서 보수 등의 목적으로 용이하게 접근 가능하다. 패드(142)의 풋프린트(142)는 상당히 작고, 지열 에너지 시스템의 지반 용적의 풋프린트에 비하여 전형적으로는 10% 미만, 더욱 바람직하게는 5% 미만, 특히 바람직하게는 1% 미만이다. 또한 배열체(132)는 각 시추공 열 교환기가 실질적으로 열적으로 독립하도록 시추공 열 교환기들 간의 상호 간격이 이루어지게 구성되고 치수가 설정된다.

[0089] 시추공 열 교환기의 배열체의 전술한 실시 형태에 있어서, 그리고 본 발명에 따라 채용된 다른 배열체에 있어서, "경사" 시추 장비(slant drilling rig)를 사용하여 시추를 개시하는 것이 가능하며, 초기 시추는 수직에 대하여 5° 내지 20° 의 경사각으로 개시된다. 시추 개시 후에, 시추 각도는 유지될 수 있거나 증가할 수 있거나 감소할 수 있는데, 점차 깊어지는 부분의 각도는 건물 면적 크기와 시추공 열 교환기의 개수에 따라 변경된다. 이러한 기술의 사용은, 이웃하는 시추공들 사이의 지중 분리 거리가 얕은 깊이에서 증가할 수 있는 기술적 결과를 제공한다. 이는 미리 결정된 시추공의 길이에 대하여 궁극적으로 사용 가능한 구멍을 증가시키는 기술적 이점을 또한 제공한다.

[0090] 이러한 실시 형태들에 있어서, 시추공 열 교환기들 중 적어도 일부는 각각 수직에 대하여 3도 내지 45도, 더욱 전형적으로는 5도 내지 20도의 경사를 가지는 적어도 경사형 최상측 부분을 구비하며, 그와 같은 경사형 최상측 부분은 배열체의 지중 영역에서 이웃하는 경사형 최상측 부분으로부터 분기한다.

[0091] 몇몇 실시 형태에 있어서, 시추공 열 교환기들 중 적어도 일부는 각각 수직에 대하여 가변적인 경사를 가지며, 가변 경사형의 시추공 열 교환기는 직선형 최상측 부분(linear uppermost portion) 아래에 서서히 변화하는 경사의 적어도 일부분 또는 서로 경사진 적어도 2 부분을 구비한다. 이는 초기 지중 영역의 아래에 시추공 열 교환기의 대부분의 길이(major length)를 따라서 시추공 경사를 변화시키는 것을 제공한다.

[0092] 도 8을 참조하면, 본 발명의 제8 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 평면도가 개략적으로 도시되어 있다. 점 A, B, C 및 D에 의해 정의된 면적 A1으로 표현된 패드의 풋프린트는 지열 에너지 시스템의 점 S, T, U, V, W, X, Y 및 Z에 의해 정의된 면적 A2로 표현된 지반 용적의 풋프린트의 면적보다 작고, 바람직하게는 상당히 작고 전형적으로는 10% 미만이며, 더욱 바람직하게는 5% 미만이고 가장 바람직하게는 1% 미만이다. 즉, A2/A1의 비는 1보다 크다. 점 A 내지 D는 외측 케이싱의 축의 최상측 좌표를 나타낸다. 점 S 내지 Z는 외측 케이싱의 축의 하측 구멍 좌표를 나타낸다.

[0093] 도 9를 참조하면, 본 발명의 제9 실시 형태에 따른 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 시추공을 따르는 실제 수직 깊이(TVD)와 측정 깊이(MD) 사이의 관계를 나타내는 수직면도가 개략적으로 도시되어 있다. 열교환기는 수평으로 향한 수평 성분을 가지는 측방향 크기를 가진다. 따라서, 지표면으로부터의 측정 깊이와 지표면으로부터의 실제 수직 깊이의 비는 1보다 크다. 각 시추공 열 교환기의 수직 깊이는 5m 이상, 더욱 바람직하게는 10m 이상 750m 이하이지만, 전형적으로 적어도 하나의 시추공 열 교환기는 수직 깊이가 적어도 100m이다. 도 9에 도시된 바와 같이, 시추공 열 교환기는 수직에 대하여 평균 각도 경사를 가지며, 이 경사는 시추공 열 교환기의 대부분에 걸쳐서 3도 내지 95도, 바람직하게는 5도 내지 95도, 더욱 바람직하게는 수직으로부터 10도 내지 90도, 특히 바람직하게는 수직으로부터 30도 내지 60도, 가장 전형적으로는 수직으로부터 대략 45도이다. 그러나, 시추공 열 교환기의 모든 부분은 수직으로부터 3도 내지 95도의 범위일 수 있는데, 다시 말하자면, 수직으로부터 벗어난 직후의 각도부터 수평보다 약간 상방으로 향하는 각도까지의 범위일 수 있다. 그러한 시추공 열 교환기 형상은 본 발명의 다른 실시 형태에 사용될 수도 있다.

[0094] 본 발명의 다른 여러 실시 형태에 사용될 수 있는 다른 시추공 열 교환기의 형상이 도 10과 도 11에 도시되어 있다. 그러한 시추공 열 교환기는 유정 및 가스정(gas-well) 시추 산업에 공지된 기술의 사용에 의해 형성될 수 있다. 또한, 시추공 열 교환기의 모든 부분은 수직으로부터 3도 내지 95도의 범위일 수 있으며, 다시 말하자면, 수직으로부터 약간 벗어난 각도부터 수평보다 약간 상방의 각도까지의 범위일 수 있다.

[0095] 도 10을 참조하면, (a)에 도시된 제1 유형(152)은 지표면(GL)으로부터 하방으로 뻗은 상측 수직 부분(154)인 각도 형성 구획부, 일정하게 경사진 하측 부분(156)인 각도 유지 구획부를 포함하며, 경사 각도는 바람직하게는 수직으로부터 30도 내지 60도이고, 가장 전형적으로는 수직으로부터 대략 45도이다. (b)에 도시된 제2 유형(158)은 상측 수직 부분(160)인 각도 형성 구획부와, 일정하게 경사지고 바람직하게는 수직으로부터 30도 내지

60도의 각도로 경사지고 가장 전형적으로는 수직으로부터 대략 45도로 경사진 중간 부분(162)인 각도 유지 구획부와, 하측 수직 부분(164)인 각도 감소 구획부를 포함한다. (c)에 도시된 제3 유형(166)은 일정하게 경사지고 바람직하게는 수직으로부터 30도 내지 60도의 각도로 경사지고 가장 전형적으로는 수직으로부터 대략 45도로 경사진 상측 부분(168)인 각도 유지 구획부와 하측 수평 부분(170)을 포함한다. (d)에 도시된 제4 유형(172)은 상측 수직 부분(174)인 각도 형성 구획부와 하측 수평 부분(176)을 포함한다.

[0096] 도 11을 참조하면, (e)에 도시된 제5 유형(178)은 지표면(GL)으로부터 하방으로 연장된 단일형의 일정한 경사 부분(180)을 포함하며, 경사 각도는 바람직하게는 수직으로부터 30도 내지 60도이고 가장 바람직하게는 수직으로부터 대략 45도이다. (f)에 도시된 제6 유형(182)은 단일형의 수직 부분(184)을 포함한다.

[0097] 예를 들면, 지열 에너지 시스템은 다수의 시추공 열 교환기를 포함할 수 있으며, 적어도 하나의 제1 시추공 열 교환기는 그 대부분이 실질적으로 수직 방향으로 연장되어 있는 제2 유형(158) 및/또는 제6 유형(182)일 수 있고, 적어도 하나의 제2 시추공 열 교환기는 그 대부분이 실질적으로 수평 방향으로 연장되어 있는 제3 유형(166) 및/또는 제4 유형(172)일 수 있고, 적어도 하나의 제3 시추공 열 교환기는 그 대부분이 경사진 방향으로 연장되어 있는 제1 유형(152) 및/또는 제5 유형(178)일 수 있으며, 지열 에너지 시스템은 다수의 시추공 열 교환기가 연결되는 작동 유체용 다기관(도시 생략)을 또한 포함할 수 있다. 그와 같은 배열에 의하여, 적어도 하나의 제1, 제2 및 제3 시추공 열 교환기는 건물의 양 또는 음의 열 수요에 따라서 밸브 작동에 의하여 다기관에 선택적으로 연결될 수 있다.

[0098] 도 12와 도 13을 참조하면, 다수의 시추공 열 교환기가 연결되는 다양한 패드 형상이 도시되어 있다. 도 12에서의 패드 형상은 아치형(a), 사다리꼴(b) 및 사각형(c)이다. 도 13에서의 패드 형상은 정사각형(a), 십자형(b), 선형(c), 아치형(d), 직사각형(e) 및 원형(f)이다.

[0099] 도 14를 참조하면, 본 발명의 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기의 배열체의 여러 실시 형태에 포함될 수 있는 중앙 다기관 유닛(186)이 도시되어 있다. 중앙 다기관 유닛(186)은 사용 시에 건물 난방/냉방 시스템(도시 생략)에 연결되는 작동 유체용 유입구(188)와 유출구(190)를 포함한다.

[0100] 유입구(188)는 제1 유입 라인(194) 상의 일련의 제1 유입 밸브(192a ~ 192i) 및 제1 유입 라인(194)에 평행한 제2 유입 라인(198) 상의 일련의 제2 유입 밸브(196a ~ 196h)에 연결된다. 제1 유입 밸브(192a ~ 192i)와 제2 유입 밸브(196a ~ 196h) 각각의 유출 측은 각 시추공 열 교환기용 공급 라인(197a ~ 197i) 각각에 연결된다[본 실시 형태에서는, 중앙 다기관 유닛(186)에 연결되는 9개의 시추공 열 교환기가 존재한다]. 유출구(190)는 유출 라인(200) 상의 일련의 유출 밸브(198a ~ 198i)에 연결된다. 각 유출 밸브(198a ~ 198i)의 유입 측은 각 시추공 열 교환기용의 각 회송 라인(return line)(202a ~ 202i)에 연결된다. 공급 라인(197a ~ 197i)과 회송 라인(202a ~ 202i)은 각 시추공 열 교환기에 작동 유체를 선택적으로 공급하고 회송한다. 그러나, 각 시추공 열 교환기는 공급 라인과 회송 라인 각각의 기능이 반대가 되는 역류 구성으로 선택적으로 작동될 수도 있다.

[0101] 각 밸브(192, 196, 198)는 액추에이터(도시 생략)를 구비하여 독립적으로 작동될 수도 있다. 따라서, 배열체의 각 시추공 열 교환기는, 순방향 및 역방향 유동 구성으로 각 시추공 열 교환기를 선택적으로 구동시키도록, 중앙 다기관 유닛(186)의 밸브에 의해 제어될 수 있다. 또한, 바람직한 소정의 상호 연결 구성으로 시추공 열 교환기들이 상호 연결되도록, 각 시추공 열 교환기는 다른 시추공 열 교환기 또는 다수의 시추공 열 교환기들에 연결될 수 있다. 시추공 열 교환기들은 어느 것이라도 선택적으로 작동이 중지될 수 있고, 선택된 시추공 열 교환기에 있어서는 작동 유체의 유동이 우회된다.

[0102] 도 15는 본 발명의 여러 실시 형태에 사용되는 바람직한 시추공 열 교환기의 구조를 상세히 나타낸다. 시추공 열 교환기(300)는 필요 깊이와 경로(trajectory)까지 시추된 시추공(306) 내에 설치된 외측 케이싱(302)과 내측 배관체(304)의 동축 배열로 시공된다. 외측 케이싱(302)이 시추공(306) 내로 하강한 후에, 시추공 열 교환기(300)의 구조 일체화 및 마주치는 지질학적 지층들로부터의 수압 차단을 보장하기 위하여, 특히 시추공이 가로지를 수도 있는 지하수 영역으로부터의 격리를 보장하기 위하여, 열적으로 최적화된 시멘트(308)가 외측 케이싱(302)과 시추공 벽(312) 사이의 환형부(310) 내로 압송된다. 외측 케이싱(302)의 바닥(314)은 바닥 플러그(316)로 밀봉되고 시멘트 처리되어, 완전한 격리가 이루어진다.

[0103] 내측 배관체(304)는 배관체(304)를 따라 간격을 두고 배치된 동심화 핀(centraliser fin)(318)에 의해 외측 케이싱(302) 내에 동심으로 배치되며, 열 에너지 전달 매체로 작용하는 작동 유체[수성(water-based) 유체]의 순환을 위한 효과적인 폐쇄 루프 경로를 형성하도록, 내측 튜브는 바닥 플러그(314)의 상방에 짧은 거리를 두고 단부가 개방된 채로 유지된다. 이 핀(318)은 외측 케이싱(302)과 내측 배관체(304) 사이의 시추공 열 교환기 환

형부(320) 내에서 압력 손실을 최소화하면서 지층으로의 또는 지층으로부터의 지열 에너지의 전달을 적절히 향상시키는 유동 특성을 일으키는 기계적 "난류 형성체(turbulator)"로도 작용한다. 전형적으로, 작동 유체는 지면 제어 모듈의 제어에 의하여 환형부(320)의 하방(화살표 A)으로 압송되고, 다시 내측 배관체(304)의 상방(화살표 B)으로 지면까지 압송되지만, 정확한 용도에 기초하여, 최적 성능을 제공하기 위하여 경우에 따라서는 순환 방향이 반대가 될 수도 있다.

[0104] 시추공 열 교환기(300)에는 시추공 열 교환기(300)의 길이를 따라 여러 간격으로 도면 부호 322와 같은 온도 센서가 부착될 수도 있다.

[0105] 시추공 열 교환기의 효율은, 시추공 열 교환기 내의 어느 지점에서든지, 지질학적 지층 온도와 환형부(320) 내의 작동 유체의 온도 차이에 직접 관련이 있다는 점에 주목하는 것이 중요하다. 따라서, 효율적인 열 획득을 위하여, 시추공 열 교환기로 유입되는 작동 유체는 가급적 최저 온도에 있어야 하고, 시추공 열 교환기는 지열 구배의 활용을 위해 실용적이도록 깊게(예를 들면, 450m) 설치되어야 한다. 반대로, 냉방 모드에서 효율적인 열 방출을 위하여, 작동 유체는 최고 실용 온도에 있어야 하고, 시추공 열 교환기는 얕은 깊이(예를 들면, 50m ~ 100m)에 수평으로 설치되어야 한다.

[0106] 시추공 열 교환기의 설계는, 본래 원유 및 가스 생산 산업에서의 응용을 위해 개발되어 상용화된 컴퓨터 모델로부터 도출되는 치수와 작동 파라미터 및 정확히 선정된 재료의 사용에 특징이 있다. 이 모델은, 모든 지질학적, 물리적, 수력학적 및 열적 파라미터를 고려하여, 동축 폐쇄 루프 순환 시스템의 열 응답, 구체적으로는 시추공 열 교환기의 열 응답을 모사할 수 있다. 모델로부터의 출력은, 모든 구체적인 에너지 수요 프로파일에 대한 유량, 압력 손실 및 열 응답 곡선(예를 들면, 온도 대 시간)을 포함하며, 따라서 시추공 열 교환기 설계와 작동이 구체적인 각 건물에 정확히 부합될 수 있게 한다.

[0107] 본 발명에서 구체적인 외측 케이싱(302) 재료는 높은 열 전도도와 기계적 강도를 가진 탄소강이다. 내측 배관체(304)는, 열 차단성을 제공하고 지면으로 지열 에너지를 전달하는 작동 유체의 열적 "단락"(thermal "short-circuiting")을 최소화하도록, 전도도가 낮은 후벽(thick-walled) 열가소성 재료로 특정되며, 그에 따라 시추공 열 교환기(300)의 전체 열 효율을 증가시킨다.

[0108] 최신 컴퓨터 모델을 사용한 여러 BHE 형상의 광범위한 모델화에 의하여, 시추공 열 교환기(300)의 열 동력 전달 용량은 이제까지의 종래의 U-튜브 시추공 열 교환기에 의해 달성된 용량보다 상당히 높은 것으로 확인되었다. 예를 들면, 건물 운용 설계의 수요 프로파일에 따라서, 80W/m 내지 180W/m 범위의 평균적인 선형 동력 출력이 얻어질 수 있다. 이는 전형적으로 20W/m ~ 70W/m를 출력하는 전형적인 U-튜브 또는 "슬링키(slinky)" 설비와 비교된다는 점에 주목할 만하다.

[0109] 배열체 내의 각 시추공 열 교환기의 효율은 높지만, 전체 성능을 최대화하고 그에 따라 제약 없이 건물의 다양한 에너지 수요를 충족하기 위해서는, 건물 운용 연결부로의 그리고 연결부로부터의 온도와 유량뿐만 아니라 특정 조건 하에서 서로간의 온도와 유량을 감시하고 조절하는 것이 중요하다. 이는, 패드 상에 장착되거나 지면에서 배열체에 인접하게 위치하는 보관실(cellar) 내에 장착된 중앙 공통 다기관 유닛을 포함하는 지면 제어 모듈(SCM)에 의해 실시된다. 하나 이상의 배열체가 설치되는 경우에, 전체 설계 요건에 따라서 하나 이상의 SCM이 존재할 수도 있다.

[0110] 도 16을 참조하면, 지면 제어 모듈(400) 내에는, 중앙 다기관 유닛(401)에 연결되거나 그 일부로서의 밸브(402), 압력 게이지(404), 온도 센서(406) 및 유동 센서(408)가 장착되며, 이들은 패드(413)에 부착된 시추공 열 교환기의 배열체(412)의 최적 에너지 수지를 유지하거나 건물 운용 설비(building services installation)(418)에 작동 유체를 필요 온도로 이송하도록 프로그래밍된 마이크로프로세서(410)에 의해 제어된다. 시추공 열 교환기의 배열체(412)를 통해 작동 유체를 압송하기 위하여 펌프(419)가 설치되며, 이 펌프(419)는 전형적으로 건물 운용 설비(418) 내에 위치한다. 또한, 건물 운용에 공급된 열 에너지는 지면 제어 모듈(400)의 출측에서 계량기(meter)(420)에 의해 계량된다. 마이크로프로세서(410) 내에는, 변화하는 건물 에너지 수요에 대한 배열체의 응답을 도표화(mapping)하고 건물 관리 시스템(422)과 호환성이 있는 소프트웨어가 설치된다. 수요 프로파일이 변경될 경우에 또는 업그레이드(upgrade)를 실시하기 위하여, 소프트웨어는 수정되거나 다시 설치될 수 있다.

[0111] 설비의 작동 중에, 시간적으로 소정의 순간에 필요한 온도의 작동 유체는 지면 제어 모듈(400)의 출측에서 이용 가능하게 된다. 그 후에 이 작동 유체는, 일반적으로 건물의 지하실에 위치하고 제1 열 펌프 유닛(426)이 설치되어 있는 설비실(plant room)(424)로 이송된다. 동시에, 설비실(424)의 출측에 도달한 사용 완료 작동 유체는

배열체(412) 내로의 재-주입을 위하여 지면 제어 모듈(400)로 회송되어야 한다. 이러한 작업은 미리 절연된 열가소성 파이프의 네트워크에 의해 실시되는데, 열가소성 파이프는 전형적으로 지표면 아래의 1m ~ 2m에 매립되고 열 및 수력 에너지 손실을 전달 과정 중에 최소화한다.

[0112] 지방 또는 정부 당국에 의해 계속 엄격하게 설정되고 있는 탄소 배출 감소 목표를 달성하거나 바람직하게는 비용 효율적으로 초과 달성하기 위하여, 종래의 에너지 효율적인 시공 기술과 재생 가능한 에너지원을 조합하기 위한 목적으로, 건물 운용 설비(418)에는 이상적으로 많은 요인들이 고려된다. 동시에, 1년 내내 건물 내에 편안한 환경을 유지하고 필요한 온수 공급을 제공하기 위한 목적은 물론 1차적인 설계 목적이다.

[0113] 시추공 열 교환기 열 저항성, 지층 암석 및 지층의 열적 성질과 같은 모든 기타 관련 변수들이 일정하다고 가정하면, 소정의 단일 시추공 열 교환기가 설치된 장치의 열 응답 곡선(출력 온도 대 시간)은 작동 유체 유량, 작동 유체 입측 온도 및 작동 유체 작동 사이클(소정의 시간 동안에 시간 "온" 대 시간 "오프"의 지속 시간 및 주파수)의 함수이다. 따라서, 열 응답 곡선은 이하의 파라미터들 중 하나 이상의 변경에 의해 수정될 수 있는데, 이 파라미터들은 시추공 열 교환기의 열 응답 곡선을 형성하기 위한 작동 유체 유량과 유동 방향, 입력 온도 및 작동 사이클이다. 또한, 다수의 시추공 열 교환기의 열 응답 곡선은 다수의 시추공 열 교환기 내의 작동 유체의 선택적 분포에 의해 조합되거나 수정될 수 있다.

[0114] 각 시추공 열 교환기 또는 다수의 시추공 열 교환기의 열 응답 곡선은 작동 유체 유량(0 리터/초 ~ 10 리터/초), 유동 방향(순방향 또는 역방향) 및 입측 온도(-10℃ 내지 +40℃)의 예상 작동 범위에 걸쳐서 도표화될 수 있다. 이는 초기에는 컴퓨터 보조 분석과 예측에 의해 실시될 수 있고, 그 후에는 작동 중에 얻어진 실험 데이터에 의해 정밀하게 조정될 수 있다.

[0115] 다기관에 본래 갖추어진 지면 제어 모듈(SCM)은 프로그래밍 가능한 컴퓨터 모듈, 센서 및 제어 밸브를 포함하며, 지면 제어 모듈로부터 운용 중의 건물로의 1차 작동 유체 유입 및 유출 유동의 감시와 제어를 비롯하여, 각 시추공 열 교환기뿐만 아니라 전체 시스템에 걸쳐서 모든 작동 유체 유량, 유동 방향, 온도 및 압력을 감시하고 제어한다.

[0116] 선택적으로, 시추공 열 교환기의 길이를 따라 여러 간격으로 시추공 열 교환기에 부착된 온도 센서는 시추공 열 교환기 열 반응 곡선의 감시와 제어를 보완하기 위하여 사용될 수도 있다.

[0117] 시간 경과에 따른 소정 건물의 열 에너지 수요 프로파일은, 특히 물리적 위치, 크기, 시공 방법과 재료, 점유율과 패턴, 내부 장치 설비 및 외부 기후 조건을 포함하는 여러 변수들의 함수이다. 공간 난방과 냉방 및 건물 내에 설치된 온수 시스템의 설계에 따라서 간단한 온도 조절 제어부터 다수의 밸브와 센서의 컴퓨터 보조 제어에 이르기까지 복잡한 정도로 변화하는 내부 환경 제어는 건물 운용 관리(BSM) 시스템에 의해 처리된다.

[0118] 선택된 시간 간격 중에 소정 건물의 열 에너지 수요 프로파일은 계획된 작동 조건에 따라서 도표화될 수 있다. 이는 초기에는 컴퓨터 보조 분석과 예상에 의해 실시되지만, 그 후에는 작동 중에 얻어진 실험 데이터에 의해 정밀하게 조정된다.

[0119] 도표화된 건물의 열 에너지 수요 프로파일을 도표화된 시추공 열 교환기 에너지 응답 곡선과 병합하여 이들을 시간에 따라 가능한 한 조화시킴으로써, 소정의 시점에 건물 운용 관리 시스템의 가변성 열 에너지 수요는 전반적으로 충족된다. 이러한 작용은 컴퓨터 모듈인 마이크로프로세서에 의하여 지면 제어 모듈 내에서 실시된다. 또한, 컴퓨터 모듈은 건물로부터의 모든 불규칙 실시간 변동을 감시할 수도 있고, 이러한 불규칙 변동에 최적으로 대응하도록 BHE 열 에너지 곡선을 조정할 수도 있다.

[0120] 본 발명의 지열 에너지 시스템을 새로운 건물에 적용하는 것을 고려할 경우에, 전술한 바와 같이, 지열 에너지 시스템의 기본적 작동 성능뿐만 아니라 건물 운용 설비를 최적화하도록 건물 운용 기술을 선정하는 것이 중요하다. 예를 들면, 직접 난방 또는 냉방 설계들 중 일부는 지열 에너지 시스템으로의 연결에는 그다지 적절하지 않은데, 그 이유는 작동 중에 유입구와 유출구 연결부들 사이에 작은 온도 차이가 존재하기 때문이다. 지열 에너지 시스템 내의 소정의 시추공 열 교환기의 효율은 시추공 열 교환기를 따라 소정 지점에서의 작동 유체의 온도와 지반 온도 사이의 차이의 함수이다. 그러나, 열 펌프 기반의 설비는, 건물 처리 영역과 시추공 열 교환기 사이의 접속에 의하여, 시추공 열 교환기가 최적 온도 범위 내에서 작동할 수 있게 하며, 그에 따라 난방 및 냉방 모두에 있어서 효율을 최대화한다.

[0121] 1차적인 공간 난방 및 냉방을 직접 제공하도록 설계되어 있을 뿐만 아니라 동일 건물의 여러 부분들 사이의 열 분배 관리를 가능하게 하여 효율을 크게 향상시키고 지열 에너지 시스템의 시추공 열 교환기 상의 수요 변동(demand swing)의 크기와 시간을 감소시킬 수 있는 다수의 HVAC 건물 운용 설계가 현재 상업적으로 이용 가능하

다. 이는 사양이 간단하고 그에 따라 지열 에너지 시스템의 비용이 감소한다는 점에서 장점이 있고, 가동 비용이 더욱 감소한다는 부수적인 장점도 있다. 또한, 종래의 에너지 절감 시공 방법과 조합되면, 카본 배출량(carbon footprint)의 더욱 상당한 감소가 실현될 수 있다.

[0122] 건물 운용 설계는, 외부 환경 및 내부적으로 발생한 에너지 수요 프로파일에 대한 구조적 대응을 고려하여, 공간 난방 및 냉방 요건을 충족하는 총체적인 방안을 가능하게 하는 소프트웨어를 포함하는 최신 컴퓨터 보조 설계 툴의 사용에 의해 실시된다.

[0123] 전술한 실시 형태에서 도시된 바와 같이, 각 강성 콘크리트 패드는, 전형적으로 패드당 5개 내지 10개이고 전형적으로 3m 이하의 간격으로 이격되어 시추공 열 교환기에 연결된 다수의 "갱정 덮개(wellhead)"를 포함한다. 패드는 각 시추공 열 교환기의 지면 제어 모듈("SCM")로의 지면 종결 접합부(surface termination junction)로 작용하며, 지면 제어 모듈은, 소정 시점에 배열체의 열 에너지 입력/출력을 건물 에너지 수요 프로파일에 최적화하도록, 컴퓨터 제어 하에서 시추공 열 교환기를 통하여 그리고/또는 시추공 열 교환기들 사이에 유체를 압송함으로써 수성 작동 유체의 온도, 압력 및 유동을 감시하고 조절한다. 이러한 공정은, 시추공 열 교환기의 성능과 정상적 작동을 항시 감시하도록, 각 시추공 열 교환기의 길이를 따라 간격을 두고 일체형 온도 및 유동 센서들을 제공함으로써 용이하게 이루어질 수 있다.

[0124] SCM은 운용 건물 내의 난방, 환기 및 공조(heating, ventilation and air-conditioning, HVAC) 환경 제어 장치 및 온수 가열 설비를 제어하는 건물 운용 관리(BSM) 시스템에 전기적으로 또한 연결된다. SCM 제어 하에서, 배열체 내의 여러 시추공 열 교환기들 및 그 사이를 통과하는 작동 유체 유동은 연속적 또는 단순한 개폐 방식보다는 시간 및 온도 의존적 방식으로 작동(순환)될 수 있다. 이는, 시추공 열 교환기의 정밀 설계와 병행되어, 시간 경과에 따라 건물의 필요 에너지와 시추공 열 교환기의 열 에너지 용량의 정밀한 조화가 이루어지게 하고, 지반 지층의 열 결핍 또는 포화의 가능성과 그에 따른 시스템 효율 저하를 방지한다.

[0125] 또 다른 작동 변형예는 SCM을 대기 모드(standby mode)로 전환하는 것이며, 이 경우에 외부 압송 동력의 필요 없이 지반 지층의 온도를 최적화하기 위한 목적으로, 하나 이상의 시추공 열 교환기가 열-사이펀(thermosyphon) 구동 모드로 작동된다.

[0126] 지면 제어 모듈과 건물 운용 관리 시스템의 이러한 통합형 전자 시스템(즉, SCM + BSM)은, 현지 관리에 의하여 시스템의 일상적 작동을 자동화하거나 대안적으로 유선 또는 무선 통신에 의한 원격 시스템 작동과 관리를 제공하는 선택 사양을 제공한다. 갱정 덮개 패드와 지면 제어 모듈은 지면에 장착된 모듈로서 구성되거나 지표면 이하의 보관실 내에 설치될 수 있다.

[0127] 시추공은, 경사 시추(slant drilling) 성능을 구비할 수도 있는 특별 사양의 자동화된 이동성 시추 장치를 사용함으로써 시추된다. 측정-시추 동시 실시 장비(measurement-while-drilling sonde, MWD), 조종 가능한 수압 모터 및/또는 조종 가능한 회전 시추 시스템, 다운홀(downhole) 수압 모터, 방향성 공기 해머, 자이로스코프 및 관성 안내 시스템 및 관련 제어 소프트웨어와 같은 원유 및 가스 산업으로부터 유래하여 확립된 장비 및 기술이 병용되어 시추 작업이 이루어짐으로써, 면적이 수 평방 미터인 콘크리트 패드로부터 다수의 시추공이 시추되며, 콘크리트 패드 내에 갱정 덮개들이 3m 이하로 이격되어 있으나, 최종 깊이에서는 수백 m에 이르는 넓은 분리 거리가 달성되는 방향으로 시추될 수도 있다. 시추 공정은, 적용 분야에 따라 수성 유체, 거품(foam) 또는 공기를 포함하는 비독성 "시추 유체(drilling fluid)"의 사용에 의해 용이하게 이루어질 수도 있다.

[0128] 각 시추공 열 교환기는 이를 수용하는 시추공에 의해 횡단된 지반 지층으로부터 기계적으로 그리고 수압적으로 격리된 동축 "튜브 내 튜브(tube-in-tube)" 구성으로 이루어진다. 외측 케이싱은 적용 분야에 따라서 강, 알루미늄, 염화폴리비닐(PVC), 글라스 강화 플라스틱(GRP) 또는 카본 강화 플라스틱(CRP)으로 제조될 수 있다. 외측 케이싱은, 횡단되는 지반 지층의 특성에 따라서, 수용 시추공 내에서 부분적으로 또는 전체적으로 시멘트로 접합되거나, 시멘트 처리가 이루어지지 않을 수도 있다. 시멘트 배합물(cement formulation)은 적용 분야에 따라서 일반적인 시멘트계 그라우트를 포함할 수 있거나 대안적으로 팽창성 밀봉 화합물(sealing compound)을 포함할 수도 있다.

[0129] 외측 케이싱 내에는, PVC, GRP 또는 CRP 복합 재료로 이루어진 후벽 배관체 또는 미리 절연된 배관체, 또는 대안적으로 절연 슬리브 내에 수납된 강이나 알루미늄이 설치된다. 유형과 용도에 따라서, 이 배관체는 연속 코일로 공급되어 설치되거나, 불연속 길이로 공급된 후에 기계적으로 서로 접합되어 설치될 수 있다. 이 배관체는 경사진 동심화 "전향체(deflector)"에 의해 외측 케이싱 내의 구멍 내에 동심 배치되며, 전향체는 외측 케이싱과 내측 배관체 사이에 필요한 단면적 간극을 제공할 뿐만 아니라 그 결과에 따른 "와류(swirling)" 작용에 의

해 외측 케이싱으로부터 작동 유체로의 향상된 열 전달을 제공한다.

[0130] 작동 유체 경로는 외측 케이싱 하부에 영구적으로 설치된 기계적 플러그에 의해 시추공 열 교환기 내에 제한되며, 그에 따라 외측 케이싱과 내측 튜브 사이의 환형부에서의 하강과 내측 튜브 내에서의 상승(역방향 순환) 또는 그와 반대 방향의 유동(순방향 순환)의 폐쇄 회로 유동이 형성된다. 이러한 폐쇄 회로 방법은 작동 중의 작동 유체가 지반 지층 또는 전형적으로 대수층(aquifer)과 같은 관련 액체 저류부와 결코 접촉하지 않는 것을 보장하며, 따라서 시스템을 환경 친화적이 되게 한다.

[0131] 본 발명자들은 컴퓨터 모델에 기초하여 심층 열-사이펀 작용에 대해 추가로 연구를 하여, 영국 내에서 상용화된 크기의 건물의 냉방에 필요한 동력은 난방에 비하여 상당히 크다는 사실을 인식하게 되었다. 이로부터 도출된 결론에 의하면, 건물의 공간 난방과 냉방 요건을 만족시키는 데 있어서, 특히 상용화된 크기의 건물에 대한 공간 난방과 냉방을 위한 용도에 있어서, 지반으로의 열 방출은 적어도 열 추출만큼 중요하다. 지구 온난화 및 특히 인간 활동에 의해 생성되는 이산화탄소와 같은 온실 가스의 방출에 관한 국제적 관심이 증가하고 있다. 공간 난방 및/또는 냉방을 목적으로, 또는 전력의 생산을 위하여, 지열은 화석 연료 에너지 시스템의 대안으로서 재생 가능한 저탄소 에너지 시스템을 제공한다.

[0132] 본 발명의 한 형태에서는, 냉방 모드에서 냉방 효과를 최대화하기 위하여, 시추공 열 교환기(BHE)들 중 일부는 난방만을 위한 모드에서 채용되는 깊이보다 얕은 깊이에 배치된다. 작동 유체는 냉방 모드에서 시스템에 압송될 필요가 있는데, 그 이유는 열-사이펀 작용이 실제로는 필요한 유동 방향과 반대로 작용하기 때문이다. 지구 전체에 걸쳐서 예외적인 특정 영역, 예를 들면 화산 활동 영역을 제외하면, 지반 지층의 온도는 깊이에 따라서 거의 선형적으로 증가하므로, 더욱 얕은 깊이가 필요하다. 냉방 모드에서 최대 열 방출 효율을 위하여, 작동 유체와 지반 지층의 온도 차이는 시추공 열 교환기를 따라 어느 지점에서나 최대화되어야 하며, 따라서 깊이는 낮게 규정된다. 또한, 시추공 열 교환기 내의 작동 유체의 순환 방향은 특히 냉방 모드에서 열 효율에 영향을 미치며, 환형부에서의 하강과 BHE의 중앙측 내측 튜브에서의 상승의 "역방향" 순환은 바람직한 이점을 가진다.

[0133] 따라서, 몇몇 실시 형태에서, 동축 시추공 열 교환기가 설치된 시추공은 시추공 열 교환기의 충분한 길이가 유지되면서 전체 깊이가 최소화되는 방향으로 시추된다. 이는 적용 분야에 따라서 시추공에 대하여 수직부로부터 경사를 거쳐 수평부에 이르는 적절한 경로 선정에 의해 이루어질 수 있다.

[0134] 본 발명의 바람직한 실시 형태에서는, 시추공의 지면 종결부("갱정 덮개")가 일반적으로 3m 이하의 거리만으로 밀집 배치되도록 지반 표면에서의 소형 콘크리트 "패드"로부터 다양한 경로의 다수의 시추공을 시추함으로써, 원유 및 가스 시추 공법을 채용하는 시추공 열 교환기의 방향성 시추의 개념이 존재한다. 시추는 종래의 경량 이동성 장비에 의해 실행될 수도 있다. 이는 수십 또는 수백 개의 얕은(예를 들면, 100m) 시추공("U-튜브")을 시추하거나 수 킬로미터의 플라스틱 파이프를 수백 평방 미터에 걸쳐서 얕은(2m) 트렌치(trench)("슬링키") 내에 설치하는 현재의 표준 공법과는 현저하게 대조적이다. 현행 공법에 의해 발생하는 비용, 불편함 및 가용 토지의 감소는 특히 영국 내에서 지열 에너지 응용 분야의 성장에 대한 장애가 되어 왔다. 대조적으로, 패드 시추 방법은, 인접하는 부지 표면에 문제를 일으키지 않고 긴 길이의 시추공을 시추할 수 있을 뿐만 아니라 지면 풋프린트가 10 ~ 20 평방 미터로 작다는 등의 많은 장점을 가진다.

[0135] (영국 내의) 일반적인 사무용 건물에 대하여, 건물 난방과 냉방 에너지 프로파일이 난방과 냉방 에너지 모두를 제공할 수 있는 시추공 열 교환기의 배열에 적합할 것인지에 대하여 연구가 이루어졌다. 이 연구에 의하여 냉방 에너지 요건이 난방 에너지 요건보다 중요하다는 점이 확인되었다.

[0136] 본 발명의 바람직한 실시 형태에서, 각 시추공 열 교환기를 통과하는 유동 조건, 각 시추공 열 교환기 간의 유동 조건 및 시추공 열 교환기 배열체와 운용되는 건물 사이의 유동 조건의 컴퓨터 제어를 가능하게 하는 필요한 밸브 및 센서들을 포함하는 지면 제어 모듈에 의하여, 각 시추공 열 교환기의 지면 연결부들은 작은 풋프린트를 가지는 배열로 함께 조립된다. 이는 배열 전체의 에너지 수지를 최적화할 수 있을 뿐만 아니라, 지반 열 환경을 결핍시키거나 포화시키지 않고 건물로부터의 다양한 부하를 유지하게 한다. 또한, 지면 제어 유닛은 운용되는 건물에 난방 및 냉방 에너지를 동시에 공급할 수 있게 한다.

[0137] 다양한 유량 및 작동 온도 범위에 걸쳐서 여러 시추공 열 교환기의 응답 범위가 컴퓨터 모델화에 의하여 설명될 수 있다. 그 결과에 의하면, 깊이, 경로, 시추공 열 교환기 직경, 유량, 유동 방향, 지반 온도, 케이싱과 배관체 재료 및 작동 모드의 영향은 예상된 바와 같다는 점이 확인되었다. 또한 중요한 점으로서, 순환의 개폐 주기를 변경함으로써, 고효율과 최대 출력이 실현될 수 있고, 이는 건물 에너지 수요 프로파일에 대한 시추공 열 교환기의 적합성을 향상시킨다는 것이 밝혀졌다. 또한, 특정 조건 하에서, 시추공 열 교환기 배열체의 탄소 배출

저감 성능을 향상시킬 수 있고, 최대 동력 수요에 더욱 효율적으로 대처하고 설비의 탄소 배출량을 더욱 감소시키기 위하여, 열 병합 발전(combined heat and power, CHP)과 같은 재생 가능한 다른 기술과 조합함으로써 배열체의 다용성을 증가시킬 수 있다.

[0138] 설계에 의해, 시추공 열 교환기 배열체의 열 출력 곡선은 공간 난방, 냉방 및 온수 공급에 관한 건물 열 동력 수요에 적합하게 된다.

[0139] 본 발명의 바람직한 형태에 따르면, 각 건물의 열 에너지 관리는 다수의 건물과 설비의 열 에너지 관리 및 다양한 열원과 저장 자원의 통합으로 확장될 수 있다. 지면 제어 모듈은 그와 같은 다수의 구성요소들의 시스템의 중앙 구성요소이다.

[0140] 에너지 효율은 세계적인 이산화탄소 배출 감소에 기여한다. 본 발명은 기존에 확립된 지열원 열 펌프의 실용 기술에 기초하여 대규모의 고효율 공간 난방 및 냉방 설비를 제공할 수 있다. 다년간 육지 및 근해 모두에서 채용되어 왔고 기술적으로 그리고 상업적으로 입증된 최신 유전 시추공 시추 및 완공 기술을 적용하여, 시추공 열 교환기를 설치할 수 있다. 중요한 장점은 관련 건물에 인접한 좁은 장소 또는 패드로부터 시추공들의 배열체를 비용 효율적으로 시공한다는 점이며, 적합한 건물 운용 설계를 제공하는 고효율의 동축 폐쇄 루프 열 교환기 설계에 의해 시추공들이 완공된다.

[0141] 본 발명의 바람직한 실시 형태의 지열 에너지 시스템은, 주로 대형 건물 구조체 또는 난방 및/또는 냉방에 관한 수요가 높은 모든 건물에 냉방 및/또는 냉방 에너지를 제공하는 특정 용도의 통합형 고효율 저-탄소 방출 시스템이다. 지열 에너지 시스템에 의해 제공되는 에너지는 주로 세계적으로 풍부한 저온 지열원으로부터 얻어지며, 이 지열원은 지속적 사용과 재생이 가능하고 운용 건물의 카본 배출량의 상당한 감소를 달성하는 수단을 제공한다.

[0142] 본 발명의 바람직한 실시 형태에서, 건물 운용 업계에서의 설계 방법과 재료에 있어서의 최상의 관용 기술과 최신 지열원 열 펌프 기술이 조합되어, 대량의 열 에너지를 이송하고 저장할 수 있는 에너지 이송 네트워크 및 지면 제어 모듈에 연결된 고효율의 실용적 지열 시추공 열 교환기 배열체가 또한 제공된다.

[0143] 본 발명의 바람직한 실시 형태는, 예상되는 열 부하 조건에서 효율이 최대이고 건물 운용 설계에 정밀하게 적합하도록, 특별히 설계되고 특수 장비가 갖추어진 방향성 시추형의 다수의 지열 시추공들로 이루어진 밀집 배열형의 시추공 열 교환기를 제공할 수 있다. 본 발명의 바람직한 실시 형태는, 건물 운용 설비로의 또는 건물 운용 설비로부터의 지열 전달 및 배열체 내의 각 시추공 간의 지열 전달을 관리하는 마이크로프로세서 지면 제어 모듈(SCM) 인터페이스 유닛을 제공할 수 있다.

[0144] 본 발명의 바람직한 실시 형태는 SCM을 건물 운용 설비에 연결하는 저압 단열 에너지 분배 네트워크를 제공할 수 있다.

[0145] 본 발명의 바람직한 실시 형태는, 처리 영역의 난방 및/또는 냉방 및 건물 내의 온수 공급을 위한 최신 열 펌프 기술을 포함하고 목적에 따라 설계되고 구성된 건물 운용 설비를 제공할 수 있다.

[0146] 개발 토지의 크기 및 에너지 수요 프로파일에 따라서 소정 장소에 하나 이상의 별도의 배열체들이 설치될 수도 있다.

[0147] 지열 에너지 시스템 설비의 설계에 있어서 중요한 고려 사항은 건물 운용 설비로부터 난방과 냉방 사이의 수요의 균형이며, 이는 토지 개발이 허용된 영역 하에서 시추공 열 교환기가 수직으로, 경사지게, 또는 수평으로 시공될 것인지에 직접 영향을 미친다. 난방이 주요 고려 사항이면, 수직 시추공 열 교환기가 설정된다. 반면에, 냉방이 주요 고려 사항이라면, 수평 시추공 열 교환기가 최적 성능을 부여한다. 실제로는, 본 발명의 지열 에너지 시스템 설비는 전형적으로 하나 이상의 패드로부터 시추된 다수의 수직형, 경사형 및 수평형 시추공 열 교환기를 포함하며, 시추공 열 교환기는 패드로부터 나무의 근계(root system)와 유사한 패턴으로 시공되어 관통 지층 내의 열 에너지를 획득하거나 저장하도록 설계된다.

[0148] 또한, 지열원 열 펌프 설비가 지정되었을 때에, 전형적으로 종래의 부적합한 설비에 기인하는 비효율성을 피하기 위하여, 시추공 열 교환기 배열체의 설계를 건물 운용 설계 및 그 에너지 프로파일과 통합하는 것이 중요하다. 그 목적은, 건물 운용 설계에 난방과 냉방을 제공함에 있어서 최고 효율 성능을 제공할 뿐만 아니라, 건물 운용 설비 내에 채용된 기술이 시추공 열 교환기 배열체의 실행 성능과 조화되는 것을 보장함으로써, 채용된 각 기술을 활용하는 것이다.

[0149] 따라서 본 발명의 바람직한 실시 형태에 의하여, 소형 지면 패드가 제공되어 동축 시추공 열 교환기가 패드의

지면 경계를 지나 연장된다. 전형적으로 유전 및 가스전 개발 공법에서 이용되는 방향성 시추 기술은, 동축 시추공 열 교환기를 설치하고 각 시추공 열 교환기를 필요한 정도의 깊이, 각도 및 방위(azimuth)로 설치하기 위한 실질적인 해결안으로서 채용된다. 동축 시추공 열 교환기들의 각 집단(cluster)의 전체 길이보다 작고 전형적으로 각 BHE에 대한 전체 길이의 5% 미만인 동축 시추공 열 교환기의 최상측 20m ~ 30m를 제외하면, 설치된 동축 시추공 열 교환기는 열 간섭 요인과는 무관할 수 있다. 3차원 배열을 제공함으로써, 대용적에 걸쳐서의 복합적인 열 전달 공정은 지반 표면에서 한 지점인 패드에서 달성될 수 있다. 이는 공지의 수직형 시추공 열 교환기에 대한 단일 차원의 열 전달 공정과는 대조적일 수 있다. 패드를 제공함으로써, 지반 표면에 광대한 수집 시스템(collector system)이 필요하지 않게 되고, 이는 지면 패드당 열 에너지의 초고밀도 출력/입력을 달성한다. 패드는 건물에 이웃하게, 또는 설비실(utility room)의 바로 아래에, 또는 새로 시공된 건물의 경우에 건물의 다른 부분에 위치할 수 있다. 시추공 열 교환기와 건물 사이의 거리에 기인하는 작동 손실(operating loss)은 작거나 실질적으로는 존재하지 않는다. 여러 깊이의 시추공 열 교환기를 제공함으로써, 난방, 온수 공급 및/또는 동시 냉방 중 어느 하나 또는 모두는 단일 패드와 지면 제어 모듈로부터 제공될 수 있거나, 하나의 작동 모드가 선택될 수 있다. 배열체의 동축 시추공 열 교환기들은 집단적으로 또는 개별적으로 관리될 수 있다. 난방 또는 냉방 작동의 각 유형을 위한 이상적 온도 구배(temperature gradient)를 제공하기 위하여, 배열체의 시추공 열 교환기들 사이에 작동 유체의 재순환을 제공하여 과잉 열 에너지를 방출하거나 재충전하는 것이 가능하다.

[0150] 방향성 시추는, 열 에너지의 효율적인 획득 또는 방출을 위하여 최상의 열 전도성을 제공하는 암질을 가진 암반층(rock formation) 내에 각 동축 시추공 열 교환기를 배치하도록, 선별된 경로와 깊이를 선택하는 사양을 제공한다. 방향성 시추는 시추 비용을 저감하거나 열 에너지 전달을 향상시키기 위하여 암석 파단 방향을 활용할 수 있다. 폐쇄형 시추공 열 교환기를 사용하여 자연 자원에 영향을 미치지 않고 대수층 유동 효과를 최대화할 수 있다. 또한, 열 간섭을 일으키지 않고 안전한 거리로, 이웃하는 건물의 시추공 열 교환기 배열체를 우회하거나 통과하는 것도 가능하다.

[0151] 연장된 동축 시추공 열 교환기 배열체는, 하나의 패드에 배치된 하나 또는 다수 또는 모든 시추공 열 교환기의 길이를 따라서 열 에너지의 재분배를 위하여, 하나 또는 다수의 시추공 열 교환기 간의 하나 이상의 폐쇄 회로 내에서, 내부 열사이폰 유동의 효과적인 사용을 가능하게 하는 기하학적 형상을 가질 수 있다. 이는 압송 요건을 낮춤으로써 순환 에너지 손실과 관련된 운용 비용을 절감할 수 있고, 열 펌프 설비에 필요한 열 에너지를 저감할 수 있다.

[0152] 시추공 열 교환기에 있어서, 열 에너지 온도 구배에 의해 영향을 받은 작동 유체 밀도의 변화에 의해 일어나는 부력 유동(buoyancy flow)인 열사이폰 순환 유동의 사용은 공지되어 있다. 그러나, 광대한 지면 수집기 시스템의 제약을 비롯한 여러 이유에 의하여, 제어된 경로 하에서 여러 깊이에 배치되어 연결된 개별적인 지반 열 교환기들 사이의 복잡한 상호 반응 유동 및 온도 구배의 사용을 방해하는 요인이 존재한다. 그러나, 본 발명의 바람직한 실시 형태의 시스템은 하나의 시스템으로서 또는 단일 수직형, 경사형 또는 수평형(예를 들면, L형) 시추공 열 교환기 내에서 이러한 유동의 효과적 활용을 가능하게 한다.

[0153] 본 발명의 바람직한 실시 형태는, 산업화 규모 또는 용량의 열 펌프 설비를 제공하도록, 바람직하게는 동축인 시추공 열 교환기의 배열체가 지반 표면 지점을 지나 연장되는 단일 소형 패드 또는 다수의 소형 패드로부터 다량의 열 에너지를 추출하고 방출하기 위한 장치를 제공한다. 소형 다기관 유닛 내에 일련의 밸브와 게이지로 이루어진 헤드 제어 유닛에 의하여, 하나의 유닛으로서 또는 개별적인 모드의 개별 유닛들로서 시추공 열 교환기의 배열체를 관리하거나 배열체 전체의 소정 부분 또는 하나의 단일 시추공 교환기에서 시추공 열 교환기의 배열체를 관리하기 위한 장치가 제공될 수 있다. 사용자 인터페이스는 배열체의 헤드 제어 유닛에 부착될 수 있거나, 인접 건물에서의 조작을 위하여 배열체의 헤드 제어 유닛으로부터 분리되지만 접속될 수 있다. 지면 경계에 의해 미리 결정된 영역 하에서 3차원 용적의 지층을 사용함으로써, 열 에너지 흡수부 또는 공급부 또는 저장부는 충분히 제공될 수 있고 건물의 소정의 소비 요건에 부합되는 용량을 가진다. 배열체는 다수의 방향성 시추된 시추공 열 교환기를 포함할 수 있으며, 각 시추공 열 교환기는 규정된 깊이, 각도 및 방위를 가진다. 시스템은 예를 들면 원형, 장방형, 아치형, 정방형 및 직선형과 같은 여러 집단 형태로, 또는 이웃하는 집단에 대하여 이들 형태가 조합된 단일 또는 다수의 소형 패드를 구비할 수 있다. 배열체는 단일 또는 다수의 배열체 내에 다수의 조합형 또는 단일 경사형, 수평형 및 수직형 동축 시추공 열 교환기를 구비할 수 있다. 패드는 단위 표면 영역당 고밀도 열 에너지의 전달을 가능하게 하는 소형 수집기 시스템을 구성하며, 그에 따라 작동 유체 압력과 열 손실을 감소시킨다. 패드의 지면 위치는 건물 또는 시설에 인접하거나 원거리에 있거나, 건물 또는 시설의 일부에 위치하며, 시추공 열 교환기 배열체는 그러한 지면 위치를 지나 어느 쪽으로나 소정 깊이까지 연장된다.

다수의 시추공 열 교환기는 계절, 기후 및 건물의 에너지 프로파일에 따라서 여러 모드로 이용될 수 있다. 시스템은 여러 깊이에서 열 에너지를 공급, 흡수 또는 저장할 수 있거나 다수의 깊이들 사이의 강제적인 재순환 및/또는 외측 열 구배를 발생시킬 수 있다. 또한, 시스템은 열사이폰 유동에 의해 배열체의 일부들 사이에 열 에너지를 재순환시켜 열 펌프 설비에 의한 흡수 효율(uptake efficiency)을 향상시킬 수 있다. 방향성 시추는, 소정 패턴의 암반 지층을 따름으로써 바람직한 암질의 암반층으로 이루어진 선택 수평층(horizon)을 충분히 활용할 수 있고, 열 에너지를 더욱 획득하거나 방출하기 위하여 소정 패턴의 대수층을 따르게 하고 폐쇄 회로 시추공 열 교환기의 수평 부분을 하강시킴으로써 대수층 흐름을 충분히 활용할 수 있고, 더욱 향상된 열 전도도를 달성하기 위하여 소정 패턴의 파단부를 따르거나 횡단함으로써 암반 파단 방향을 충분히 활용할 수 있다. 각 지층의 설정 시에 시추공 열 교환기의 배열체의 배치는 소정 지반 용적에 대하여 최적 열 효율이 이루어지도록 실시될 수 있다. 선정된 대기(stand-by) 시추공 열 교환기들 사이의 열 에너지의 수동적 재분배를 위한 선택 사양으로서, 존재하는 열 구배에 기초하여 선정된 다수의 시추공 열 교환기에 의해 작동함으로써, 배열체의 나머지 부분을 강제 순환으로부터 차단하는 것을 가능하게 한다.

[0154] 시추공 열 교환기 배열체의 비용 효율적 설치의 핵심적인 개념은 원유 및 가스 시추 및 완공에 관한 고급 기술을 조합하고 전형적으로 깊이가 얕은 환경의 지열 활용에 적용하는 것이다. 이러한 기술과 관련 기술을 비교적 온화한 지질 환경에 적합하도록 정밀하게 특정된 재료와 조합하면, 완전히 자급적인 방식으로 작은 지면의 장소로부터 소망 경로를 따라서 규정된 깊이까지 다수의 시추공을 시공할 수 있다. 이는 도시 환경 또는 지면 면적이 제한된 환경에서 시공을 고려할 경우에 주요 장점이다.

[0155] 본 명세서에 기재된 본 발명의 실시 형태는 단지 예시적일 뿐이고 발명의 범위를 제한하는 것은 아니다. 하나의 실시 형태에 대해 개시된 특징은 다른 실시 형태의 특징과 조합될 수 있고 본 발명의 범위에 포함된다.

부호의 설명

[0156] 2: 시추공 열 교환기 배열체

4, 6, 8, 10, 12, 14, 16: 시추공 열 교환기

20, 22, 24, 26, 28, 30, 32: 하측 단부

18: 다기관 유닛

144: 경계

146: 건물

186: 중앙 다기관 유닛

188: 유입구

190: 유출구

194: 제1 유입 라인

192a ~ 192i: 제1 유입 밸브

196a ~ 196h: 제2 유입 밸브

197a ~ 197i: 공급 라인

198a ~ 198i: 유출 밸브

200: 유출구 라인

202a ~ 202i: 회송 라인

300: 시추공 열 교환기

302: 외측 케이싱

304: 내측 배관체

306: 시추공

308: 시멘트

310: 환형부

312: 시추공 벽

314: 바닥

316: 바닥 플러그

318: 동심화 핀

320: 환형부

322: 온도 센서

400: 지면 제어 모듈

401: 중앙 다기관 유닛

402: 밸브

404: 압력 게이지

406: 온도 센서

408: 유동 센서

410: 마이크로프로세서

412: 시추공 열 교환기 배열체

413: 패드

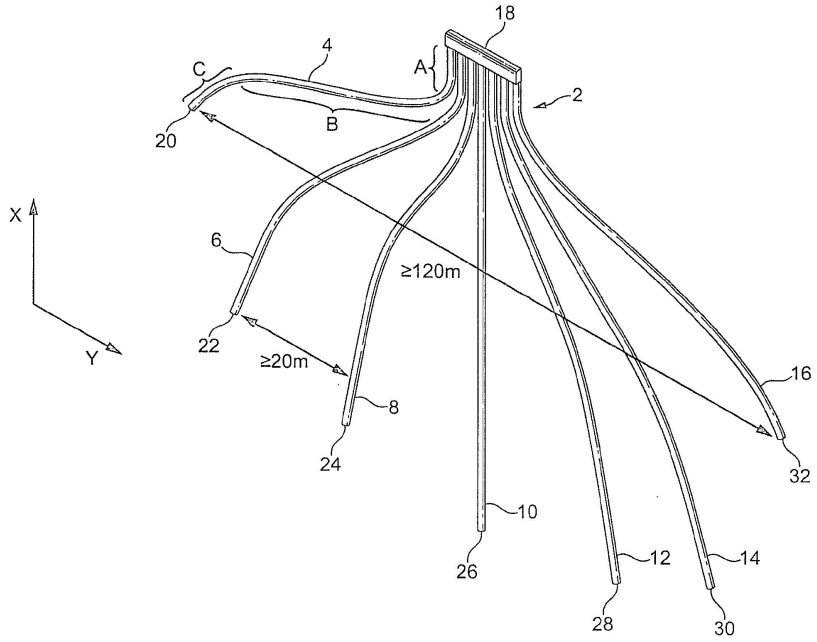
418: 건물 운용 설비　　419: 펌프

420: 계량기　　422: 건물 관리 시스템

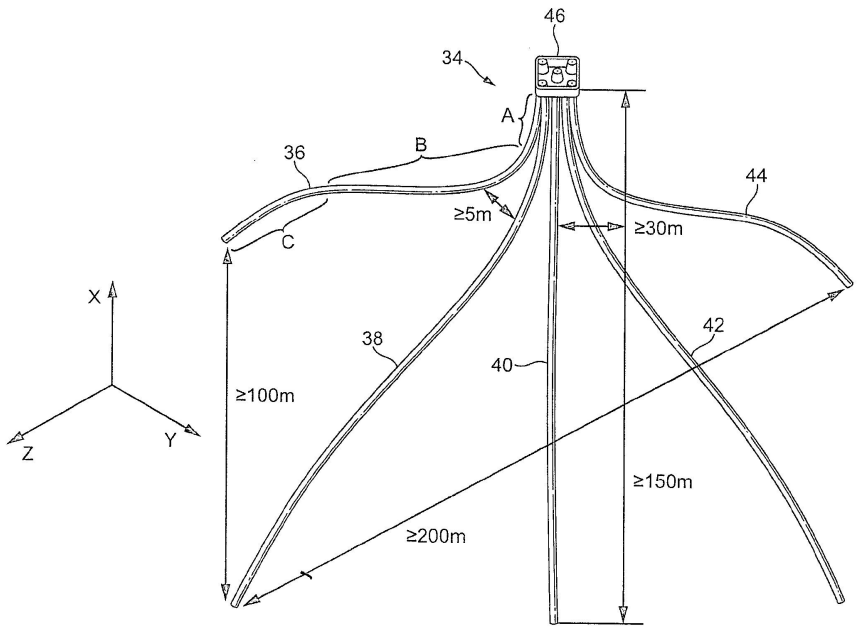
424: 설비실　　426: 열 펌프 유닛

도면

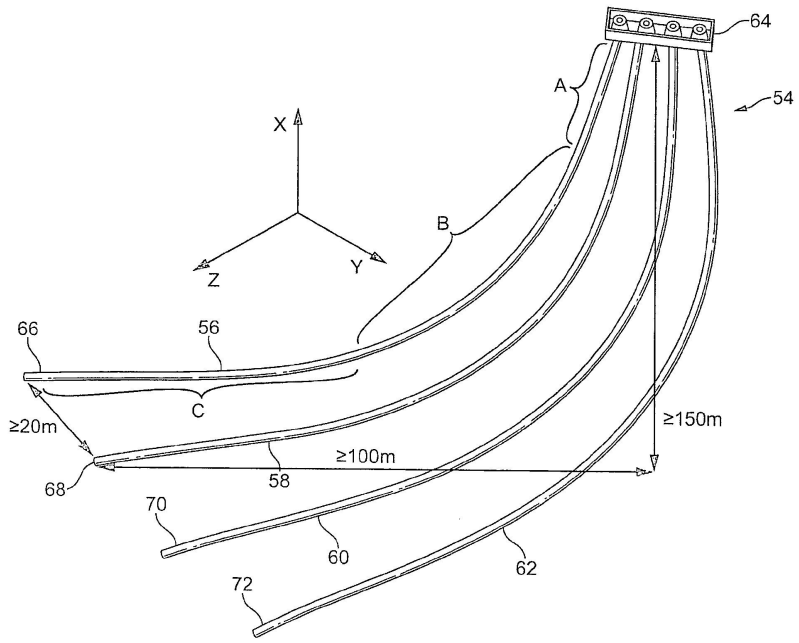
도면1



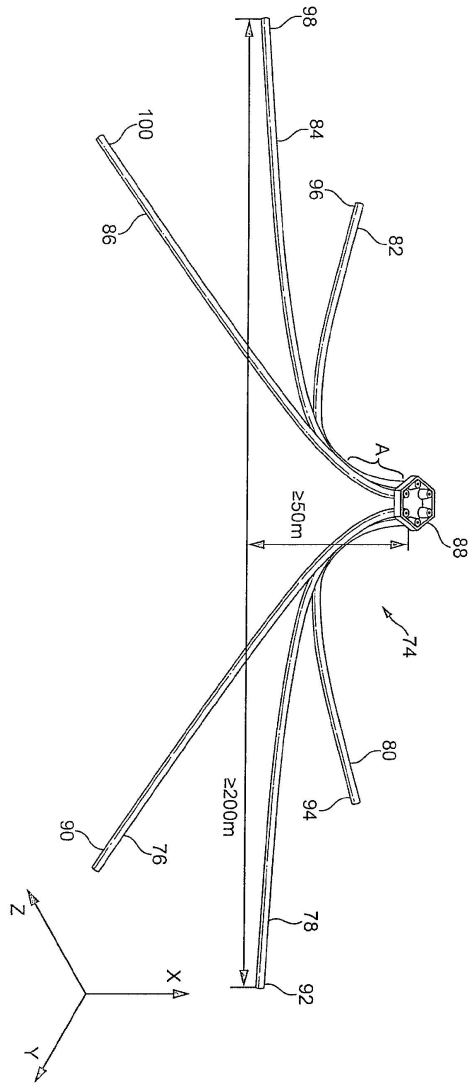
도면2



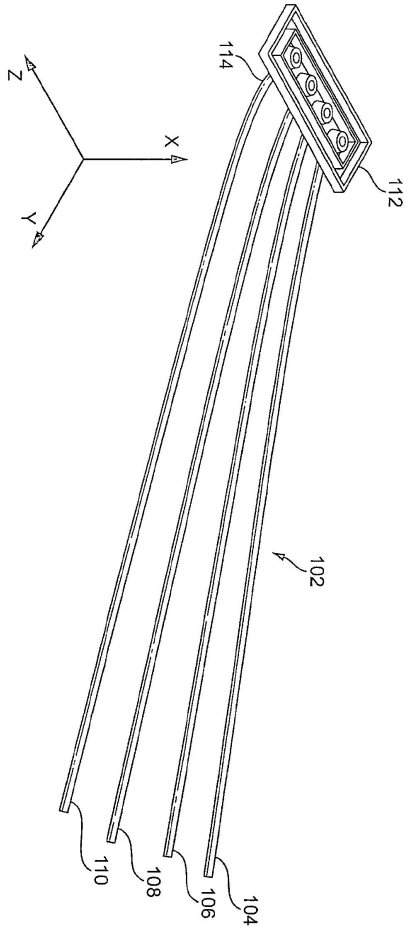
도면3



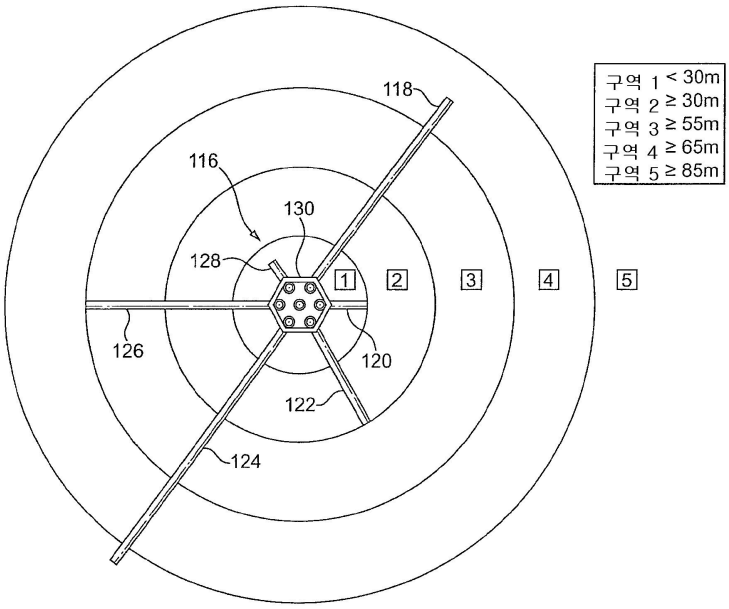
도면4



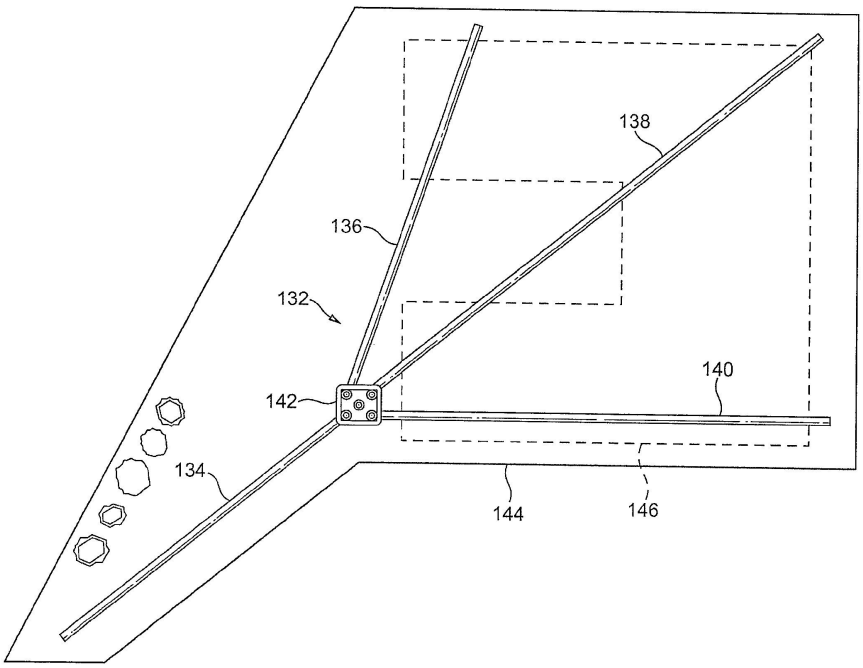
도면5


Z
X
Y
114
112
102
110
108
106
104

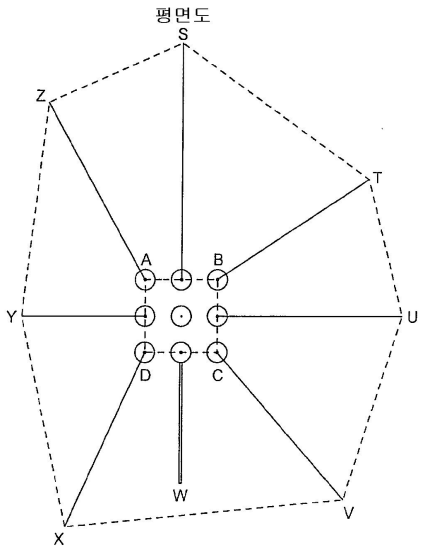
도면6


구역 1 < 30m
구역 2 ≥ 30m
구역 3 ≥ 55m
구역 4 ≥ 65m
구역 5 ≥ 85m
118
116
130
128
1
2
3
4
5
126
120
122
124

도면7



도면8

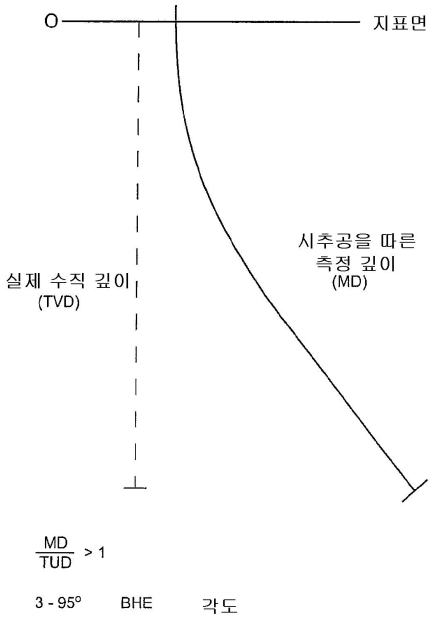


배열체 지면 면적 $A-B-C-D=A_1$

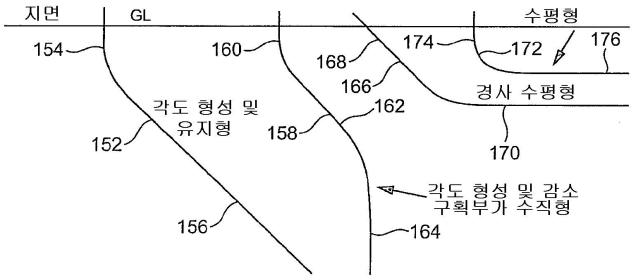
배열체 지중 면적 $S-T-U-V-W-X-Y-Z=A_2$

$\frac{A_2}{A_1} > 1$

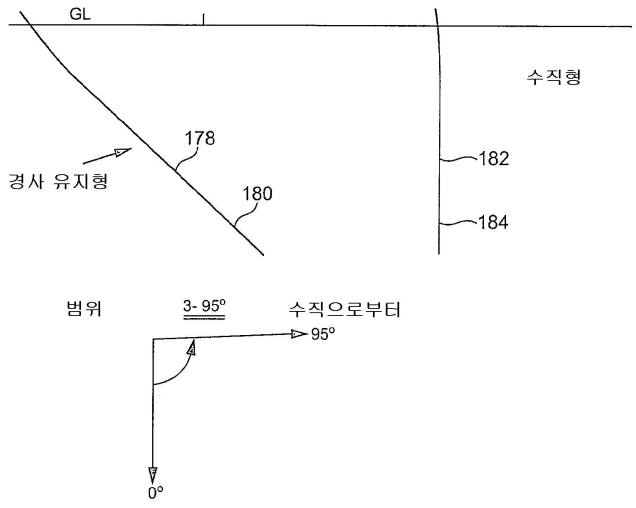
도면9



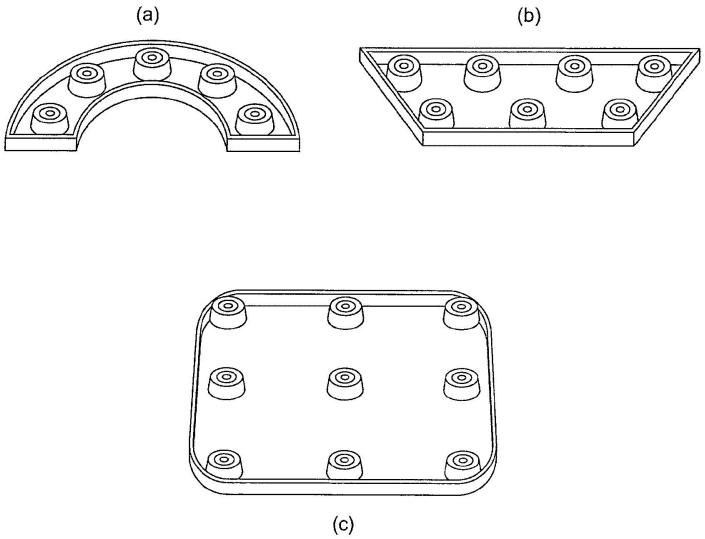
도면10



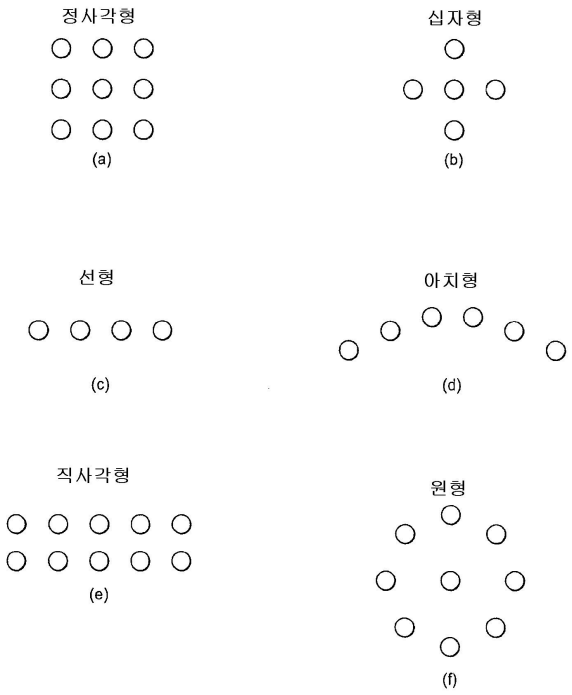
도면11



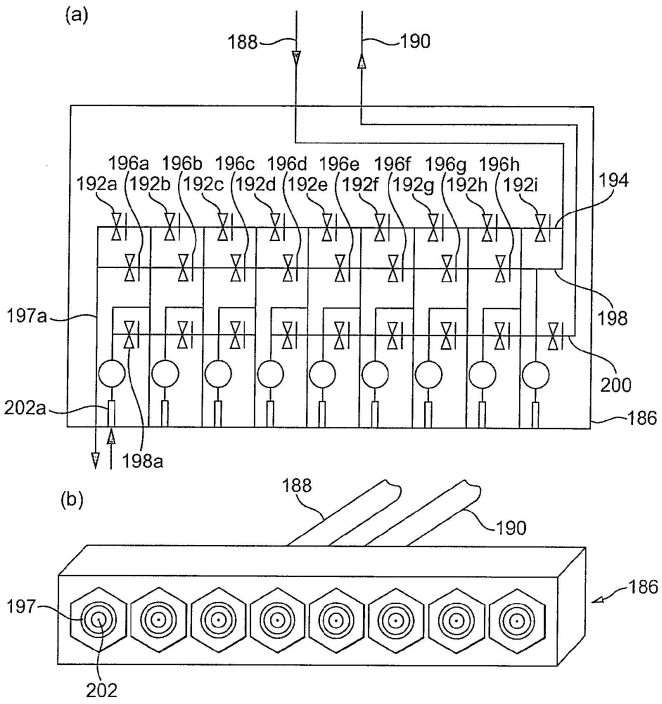
도면12



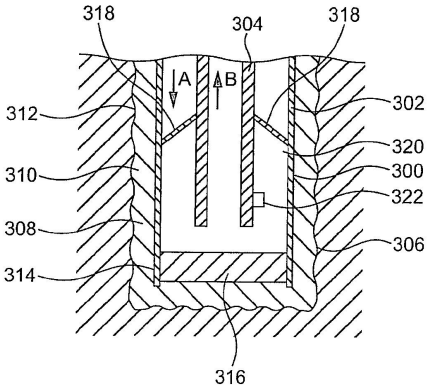
도면13



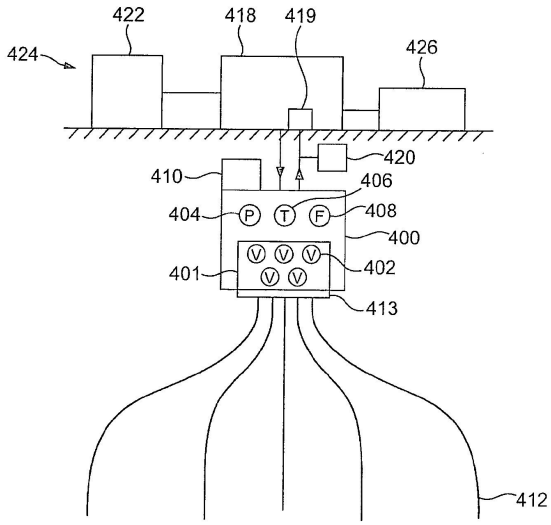
도면14


(a)
188
190
196a 196b 196c 196d 196e 196f 196g 196h
192a 192b 192c 192d 192e 192f 192g 192h 192i
194
197a
198
200
202a
186
198a
(b)
188
190
186
197
202

도면15


318
304
318
A
B
312
302
320
310
300
322
308
306
314
316

도면16


422
418
419
426
424
420
410
406
404
P
T
F
408
400
401
V
V
V
V
V
402
413
412