

(52) CPC특허분류

F01K 17/025 (2013.01)

F01K 25/103 (2013.01)

F02B 37/00 (2013.01)

F02G 5/02 (2013.01)

Y02T 10/166 (2013.01)

(72) 발명자

강승규

경기도 용인시 수지구 신봉2로 26, 101동 1801호
(신봉동, LG신봉자이1차아파트)

박상신

충청북도 괴산군 청천면 후평도원로 224

정철래

인천광역시 연수구 벚꽃로 172, 106동 308호 (연수동, 대동아파트)

명세서

청구범위

청구항 1

작동 유체를 압축시키는 압축기와,

폐열원에서 공급되는 폐열 기체로부터 폐열을 회수하여 상기 작동 유체를 가열하는 복수의 열교환기와,

상기 열교환기를 통과해 가열된 상기 작동 유체에 의해 구동되는 터빈과,

상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체와 상기 압축기를 통과한 상기 작동 유체를 열교환하여 상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체를 냉각시키는 리큐퍼레이터를 포함하며,

상기 압축기의 후단에서 상기 압축기를 통과한 상기 작동 유체의 유량이 분기되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 압축기의 후단에서 분기된 상기 작동 유체의 유량은 상기 리큐퍼레이터와 상기 열원으로 각각 공급되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 열교환기는 제1 열교환기 및 제2 열교환기를 포함하고, 상기 제1 열교환기는 상기 폐열 기체가 배출되는 배출단 쪽인 저온측에 구비되고, 상기 제2 열교환기는 상기 폐열 기체가 유입되는 유입단 쪽인 고온측에 구비되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 압축기의 후단에서 분기되어 상기 리큐퍼레이터를 거친 상기 작동 유체는 상기 제2 열교환기로 이송되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 압축기의 후단에서 분기된 상기 작동 유체의 유량은 상기 제1 열교환기로 이송되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제1 열교환기를 통과해 가열된 상기 작동 유체의 유량은 상기 제2 열교환기의 전단에서 상기 리큐퍼레이터를 통과한 상기 작동 유체의 유량과 합쳐지는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 작동 유체의 유량 혼합을 위해 상기 제2 열교환기의 전단에 구비되는 믹서와, 상기 작동 유체의 유량 분기를 위해 상기 압축기의 후단에 구비되는 세퍼레이터를 더 포함하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 터빈에 연결되어 전력을 발생시키는 발전기와, 상기 터빈과 상기 발전기의 사이에 구비되어 상기 터빈의 출력을 상기 발전기의 출력 주파수에 대응하도록 전환하여 상기 발전기에 전달하는 기어박스를 더 포함하고, 상기 터빈과 상기 압축기는 동축으로 연결되어 상기 터빈에 의해 상기 압축기 및 발전기가 구동되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 9

작동 유체를 압축시키는 압축기와,

폐열원에서 공급되는 폐열 기체로부터 폐열을 회수하여 상기 작동 유체를 가열하는 복수의 열교환기와,

상기 열교환기를 통과해 가열된 상기 작동 유체에 의해 구동되는 터빈과,

상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체와 상기 압축기를 통과한 상기 작동 유체를 열교환하여 상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체를 냉각시키는 복수의 리큐퍼레이터를 포함하며,

상기 압축기의 후단에서 상기 압축기를 통과한 상기 작동 유체의 유량이 분기되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 압축기의 후단에서 분기된 상기 작동 유체의 유량은 상기 리큐퍼레이터와 상기 열원으로 각각 공급되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 열교환기는 제1 열교환기 및 제2 열교환기를 포함하고, 상기 제1 열교환기는 상기 폐열 기체가 배출되는 배출단 쪽인 저온측에 구비되고, 상기 제2 열교환기는 상기 폐열 기체가 유입되는 유입단 쪽인 고온측에 구비되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 리큐퍼레이터는 제1 리큐퍼레이터 및 제2 리큐퍼레이터를 포함하고, 상기 제2 리큐퍼레이터는 상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체가 유입되는 고온측 복열기, 상기 제1 리큐퍼레이터는 상기 제2 리큐퍼레이터를 통과한 상기 작동 유체가 유입되는 저온측 복열기인 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 압축기 후단에서 분기되어 상기 제1 리큐퍼레이터로 보내진 상기 작동 유체는 상기 제2 리큐퍼레이터를 거쳐 상기 제2 열교환기로 이송되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 압축기 후단에서 분기된 상기 작동 유체의 유량은 상기 제1 열교환기로 이송되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 제1 열교환기를 통과해 가열된 상기 작동 유체의 유량은 상기 제2 열교환기의 전단에서 상기 제2 리큐퍼레이터를 통과한 상기 작동 유체의 유량과 합쳐지는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 작동 유체의 유량 혼합을 위해 상기 제2 열교환기의 전단에 구비되는 믹서와, 상기 작동 유체의 유량 분기를 위해 상기 압축기의 후단에 구비되는 세퍼레이터를 더 포함하는 폐열 회수 발전 시스템.

청구항 17

제9항에 있어서,

상기 터빈에 연결되어 전력을 발생시키는 발전기와, 상기 터빈과 상기 발전기의 사이에 구비되어 상기 터빈의 출력을 상기 발전기의 출력 주파수에 대응하도록 전환하여 상기 발전기에 전달하는 기어박스를 더 포함하고, 상기 터빈과 상기 압축기는 동축으로 연결되어 상기 터빈에 의해 상기 압축기 및 발전기가 구동되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 폐열 회수 발전 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 작동 유체의 분기량을 조절하여 폐열 회수량을 조절함으로써 전체 시스템의 유량 변경 없이 폐열원의 온도와 유량 변동에 대응할 수 있는 폐열 회수 발전 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 국제적으로 효율적인 전력 생산에 대한 필요성이 점차 커지고 있고, 공해물질 발생을 줄이기 위한 움직임이 점차 활발해짐에 따라 공해물질의 발생을 줄이면서 전력 생산량을 높이기 위해 여러 가지 노력을 기울이고 있다. 그러한 노력의 하나로 일본특허공개 제2012-145092호에 개시된 바와 같이 초임계 이산화탄소를 작동 유체로 사용하는 초임계 이산화탄소 발전 시스템(Power generation system using Supercritical CO2)에 대한 연구 개발이 활성화되고 있다.

[0003] 초임계 상태의 이산화탄소는 액체 상태와 유사한 밀도에 기체와 비슷한 점성을 동시에 가지므로 기기의 소형화와 더불어, 유체의 압축 및 순환에 필요한 전력소모를 최소화할 수 있다. 동시에 임계점이 섭씨 31.4도, 72.8기압으로, 임계점이 섭씨 373.95도, 217.7기압인 물보다 매우 낮아서 다루기가 용이한 장점이 있다. 이러한 초임계 이산화탄소 발전 시스템은 섭씨 550도에서 운전할 경우 약 45% 수준의 순발전효율을 보이며, 기존 스팀 사이클의 발전효율 대비 20% 이상의 발전효율 향상과 함께 터보기기를 수십 분의 1 수준으로 축소가 가능한 장점이 있다.

[0004] 폐열원의 온도나 유량이 변동하는 복수의 열원을 적용할 경우, 시스템 구성이 복잡해지고 효과적인 열 이용이 어렵기 때문에 일반적으로 초임계 이산화탄소 발전 시스템은 열원인 히터가 1개인 경우가 대부분이다. 따라서 시스템 구성이 한정적이고 효과적인 열원의 이용이 어려운 문제가 있다. 또한, 폐열원의 온도와 유량의 변동에 효과적으로 대응하기 어려운 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본특허공개 제2012-145092호 (공개일 2012. 08. 02)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 작동 유체의 분기량을 조절하여 폐열 회수량을 조절함으로써 전체 시스템의 유량 변경 없이 폐열원의 온도와 유량 변동에 대응할 수 있는 폐열 회수 발전 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 폐열 회수 발전 시스템은, 작동 유체를 압축시키는 압축기와, 폐열원에서 공급되는 폐열 기체로부터 폐열을 회수하여 상기 작동 유체를 가열하는 복수의 열교환기와, 상기 열교환기를 통과해 가열된 상기 작동 유체에 의해 구동되는 터빈과, 상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체와 상기 압축기를 통과한 상기 작동 유체를 열교환하여 상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체를 냉각시키는 리큐퍼레이터를 포함하며, 상기 압축기의 후단에서 상기 압축기를 통과한 상기 작동 유체의 유량이 분기되는 것을 특징으로 한다.

[0008] 상기 압축기의 후단에서 분기된 상기 작동 유체의 유량은 상기 리큐퍼레이터와 상기 열원으로 각각 공급되는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 열교환기는 제1 열교환기 및 제2 열교환기를 포함하고, 상기 제1 열교환기는 상기 폐열 기체가 배출되는 배출단 쪽인 저온측에 구비되고, 상기 제2 열교환기는 상기 폐열 기체가 유입되는 유입단 쪽인 고온측에 구비되는 것을 특징으로 한다.

[0010] 상기 압축기의 후단에서 분기되어 상기 리큐퍼레이터를 거친 상기 작동 유체는 상기 제2 열교환기로 이송되는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 압축기의 후단에서 분기된 상기 작동 유체의 유량은 상기 제1 열교환기로 이송되는 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 제1 열교환기를 통과해 가열된 상기 작동 유체의 유량은 상기 제2 열교환기의 전단에서 상기 리큐퍼레이터를 통과한 상기 작동 유체의 유량과 합쳐지는 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 작동 유체의 유량 혼합을 위해 상기 제2 열교환기의 전단에 구비되는 믹서와, 상기 작동 유체의 유량 분기를 위해 상기 압축기의 후단에 구비되는 세퍼레이터를 더 포함 한다.

[0014] 상기 터빈에 연결되어 전력을 발생시키는 발전기와, 상기 터빈과 상기 발전기의 사이에 구비되어 상기 터빈의 출력을 상기 발전기의 출력 주파수에 대응하도록 전환하여 상기 발전기에 전달하는 기어박스를 더 포함하고, 상기 터빈과 상기 압축기는 동축으로 연결되어 상기 터빈에 의해 상기 압축기 및 발전기가 구동되는 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한, 본 발명은, 작동 유체를 압축시키는 압축기와, 폐열원에서 공급되는 폐열 기체로부터 폐열을 회수하여 상기 작동 유체를 가열하는 복수의 열교환기와, 상기 열교환기를 통과해 가열된 상기 작동 유체에 의해 구동되는 터빈과, 상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체와 상기 압축기를 통과한 상기 작동 유체를 열교환하여 상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체를 냉각시키는 복수의 리큐퍼레이터를 포함하며, 상기 압축기의 후단에서 상기 압축기를 통과한 상기 작동 유체의 유량이 분기되는 것을 특징으로 하는 폐열 회수 발전 시스템을 제공한다.

[0016] 상기 압축기의 후단에서 분기된 상기 작동 유체의 유량은 상기 리큐퍼레이터와 상기 열원으로 각각 공급되는 것을 특징으로 한다.

[0017] 상기 열교환기는 제1 열교환기 및 제2 열교환기를 포함하고, 상기 제1 열교환기는 상기 폐열 기체가 배출되는 배출단 쪽인 저온측에 구비되고, 상기 제2 열교환기는 상기 폐열 기체가 유입되는 유입단 쪽인 고온측에 구비되는 것을 특징으로 한다.

[0018] 상기 리큐퍼레이터는 제1 리큐퍼레이터 및 제2 리큐퍼레이터를 포함하고, 상기 제2 리큐퍼레이터는 상기 터빈을 통과한 상기 작동 유체가 유입되는 고온측 복열기, 상기 제1 리큐퍼레이터는 상기 제2 리큐퍼레이터를 통과한 상기 작동 유체가 유입되는 저온측 복열기인 것을 특징으로 한다.

[0019] 상기 압축기 후단에서 분기되어 상기 제1 리큐퍼레이터로 보내진 상기 작동 유체는 상기 제2 리큐퍼레이터를 거쳐 상기 제2 열교환기로 이송되는 것을 특징으로 한다.

[0020] 상기 압축기 후단에서 분기된 상기 작동 유체의 유량은 상기 제1 열교환기로 이송되는 것을 특징으로 한다.

[0021] 상기 제1 열교환기를 통과해 가열된 상기 작동 유체의 유량은 상기 제2 열교환기의 전단에서 상기 제2 리큐퍼레이터를 통과한 상기 작동 유체의 유량과 합쳐지는 것을 특징으로 한다.

[0022] 상기 작동 유체의 유량 혼합을 위해 상기 제2 열교환기의 전단에 구비되는 믹서와, 상기 작동 유체의 유량 분기

를 위해 상기 압축기의 후단에 구비되는 세퍼레이터를 더 포함 한다.

[0023] 상기 터빈에 연결되어 전력을 발생시키는 발전기와, 상기 터빈과 상기 발전기의 사이에 구비되어 상기 터빈의 출력을 상기 발전기의 출력 주파수에 대응하도록 전환하여 상기 발전기에 전달하는 기어박스를 더 포함하고, 상기 터빈과 상기 압축기는 동축으로 연결되어 상기 터빈에 의해 상기 압축기 및 발전기가 구동되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 일 실시 예에 따른 폐열 회수 발전 시스템은 압축기 후단에서 분기되는 작동 유체의 분기량을 조절하여 폐열 회수 히터의 열교환량을 조절함으로써 전체 시스템의 유량 변경 없이 폐열원의 온도와 유량 변동에 대응할 수 있다. 이에 따라 시스템을 설계점 근처에서 운전 가능하므로 전체 발전 시스템의 성능을 일정하게 유지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 폐열 회수 발전 시스템을 도시한 모식도,
 도 2는 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 추가 구성을 도시한 모식도,
 도 3은 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 세부 구성을 도시한 모식도,
 도 4는 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 터빈 입구 온도와 시스템 출력의 일 예를 도시한 그래프,
 도 5는 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 고온측 폐열 회수 히터에서의 온도 분포를 나타낸 그래프,
 도 6은 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 저온측 폐열 회수 히터에서의 온도 분포를 나타낸 그래프,
 도 7은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 폐열 회수 발전 시스템을 도시한 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하에서는 도면을 참조하여, 본 발명의 일 실시 예에 따른 복수의 열원을 활용한 초임계 이산화탄소 발전 시스템에 대해 상세히 설명하기로 한다.

[0027] 일반적으로 초임계 이산화탄소 발전 시스템은 발전에 사용된 이산화탄소를 외부로 배출하지 않는 폐사이클(close cycle)을 이루며, 작동 유체로 초임계 상태의 이산화탄소를 이용한다.

[0028] 초임계 이산화탄소 발전 시스템은 작동 유체가 이산화탄소이므로 화력 발전소 등에서 배출되는 배기 가스를 이용할 수 있어 단독 발전 시스템뿐만 아니라 화력 발전 시스템과의 하이브리드 발전 시스템에도 사용될 수 있다. 초임계 이산화탄소 발전 시스템의 작동 유체는 배기 가스로부터 이산화탄소를 분리하여 공급할 수도 있고, 별도의 이산화탄소를 공급할 수도 있다.

[0029] 사이클 내의 이산화탄소는 압축기를 통과한 후, 히터 등과 같은 열원을 통과하면서 가열되어 고온고압의 초임계 상태가 되며, 초임계 이산화탄소 유체가 터빈을 구동시킨다. 터빈에는 발전기 또는 펌프가 연결되며, 발전기에 연결된 터빈에 의해 전력을 생산하고 펌프에 연결된 터빈을 이용해 펌프를 구동한다. 터빈을 통과한 이산화탄소는 열교환기를 거치면서 냉각되며, 냉각된 작동 유체는 다시 압축기로 공급되어 사이클 내를 순환한다. 터빈이나 열교환기는 복수 개가 구비될 수 있다.

[0030] 본 발명에서는 열원으로 폐열 기체를 이용하는 복수의 히터가 구비되고, 열원의 입출구 온도, 용량, 개수 등의 조건에 따라 각 열교환기를 효과적으로 배치함으로써 열원의 개수 대비 동일하거나 적은 수의 리큐퍼레이터를 운용하는 초임계 이산화탄소 발전 시스템을 제안한다.

[0031] 본 발명의 다양한 실시 예에 따른 초임계 이산화탄소 발전 시스템이란 사이클 내에서 유동하는 작동 유체 모두가 초임계 상태인 시스템뿐만 아니라, 작동 유체의 대부분이 초임계 상태이고 나머지는 아임계 상태인 시스템도 포함하는 의미로 사용된다.

[0032] 또한, 본 발명의 다양한 실시 예에서 작동 유체로 이산화탄소가 사용되는데, 여기서 이산화탄소란, 화학적인 의미에서 순수한 이산화탄소, 일반적인 관점에서 불순물이 다소 포함되어 있는 상태의 이산화탄소 및 이산화탄소에 한가지 이상의 유체가 첨가물로서 혼합되어 있는 상태의 유체까지도 포함하는 의미로 사용된다.

- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 폐열 회수 발전 시스템을 도시한 모식도이고, 도 2는 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 추가 구성을 도시한 모식도이다.
- [0034] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시 예에 따른 초임계 이산화탄소 발전 시스템은 이산화탄소를 작동 유체로 사용하며, 작동 유체를 압축시키는 압축기(100)와, 압축기(100)를 통과한 작동 유체와 열교환하는 리큐퍼레이터(200) 및 복수의 열원(300)과, 리큐퍼레이터(200) 및 열원(300)을 통과하며 가열된 작동 유체에 의해 구동되는 터빈(400)과, 터빈(400)에 의해 구동되는 발전기(450), 그리고 압축기(100)로 유입되는 작동 유체를 냉각시키는 쿨러(500)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0035] 본 발명의 각 구성들은 작동 유체가 흐르는 이송관(도 1 내지 4의 stream 1 내지 12)에 의해 연결되며, 특별히 언급하지 않더라도 작동 유체는 이송관을 따라 유동하는 것으로 이해되어야 한다. 다만, 복수 개의 구성들이 일체화 되어 있는 경우, 일체화된 구성 내에 사실상 이송관의 역할을 하는 부품 내지 영역이 있을 것이므로, 이 경우에도 당연히 작동 유체는 이송관을 따라 유동하는 것으로 이해되어야 한다. 별도의 기능을 하는 유로의 경우 추가로 설명하기로 한다.
- [0036] 압축기(100)는 후술할 터빈(400)에 의해 구동되며, 쿨러(500)를 거쳐(stream 4) 냉각된 저온의 작동 유체를 리큐퍼레이터(200)로 보내는 역할을 한다(stream 5, 8). 압축기(100)의 후단에는 압축기(100)를 통과한 작동 유체의 유량을 분배하기 위한 세퍼레이터(S)가 구비된다.
- [0037] 세퍼레이터(S)는 압축기(100)를 통과한 유량을 후술할 열원(300) 중 하나와 후술할 리큐퍼레이터(200)로 분기하는 역할을 한다(stream 6, 8). 발전 시스템에서 가장 저온인 압축기(100) 후단에서 작동 유체의 유량 일부를 분기해 폐열을 회수하는 열원(300)으로 보내(stream 6) 열교환에 사용함으로써 폐열 흡수량을 최대한 유지할 수 있다(작동 유체의 유량 분배 및 유량 제어에 관해서는 후술하기로 함).
- [0038] 리큐퍼레이터(200)는 터빈(400)을 통과해 팽창되면서 고온에서 중온으로 냉각된 작동 유체와(stream 2) 후술할 압축기(100)를 거쳐 리큐퍼레이터(200)를 통과하는 작동 유체(stream 8)를 열교환하는 역할을 한다. 리큐퍼레이터(200)는 세퍼레이터(S)에 의해 분기된 이송관 상에 설치되며, 터빈(400)의 배출단과 쿨러(500)의 유입단 사이(stream 3)에 배치된다. 리큐퍼레이터(200)에서 압축기(100)를 거친 작동 유체는 터빈(400)을 통과한 작동 유체에 의해 1차로 가열된다.
- [0039] 리큐퍼레이터(200)에서 열교환에 의해 1차로 냉각된 작동 유체는 쿨러(500)로 보내져 2차로 냉각된 후(stream 3) 압축기(100)로 보내진다(stream 4). 리큐퍼레이터(200)에서 열교환에 의해 1차로 가열된 작동 유체는 후술할 열원(300)으로 공급된다.
- [0040] 열원(300)은 배출되는 기체의 배출 조건이 정해져 있는 제한 열원(constrained heat source)과 배출되는 기체의 배출 조건이 정해져 있지 않은 일반 열원으로 구성될 수 있다. 본 명세서에서는 편의상 제1 열교환기(310)가 제한 열원으로 구성되고, 제2 열교환기(330)가 일반 열원으로 구성된 것을 예로 하여 설명한다.
- [0041] 제2 열교환기(330)는 폐열원(10)에 가까운 쪽에 배치되고, 제1 열교환기(310)는 폐열원으로부터 제2 열교환기(330)에 비해 상대적으로 먼 쪽에 배치된다.
- [0042] 제1 열교환기(310)는 타 발전 사이클의 배기 가스와 같이 폐열을 갖는 기체(이하 폐열 기체)를 열원으로 사용하되, 폐열 기체의 배출 시(C) 배출 규제 조건을 갖는 열원이다. 배출 규제 조건은 온도 조건이며, 제1 열교환기(310)로 유입되는 폐열 기체의 온도는 후술할 제2 열교환기(330)로 유입되는 폐열 기체의 온도보다 상대적으로 낮다. 이는 폐열원과의 거리가 상대적으로 멀기 때문이다.
- [0043] 제1 열교환기(310)는 폐열 기체의 열로 압축기(100)를 통과해 제1 열교환기(310)로 유입되는(stream 6) 작동 유체를 가열한다. 제1 열교환기(310)에서 열을 빼앗긴 폐열 기체는 배출 규제 조건에 맞는 온도로 냉각되어 제1 열교환기(310)를 빠져나간다(C). 제1 열교환기(310)로 냉각 유체의 유량을 얼마만큼 보내느냐에 따라 폐열을 흡수할 수 있는 정도가 달라진다. 제1 열교환기(310)를 통과해 가열된 작동 유체는 리큐퍼레이터(200)의 후단에서 리큐퍼레이터(200)를 통과해 1차로 가열된 작동 유체와 혼합되어(stream 7) 제1 열교환기(310)로 공급된다(stream 10).
- [0044] 제2 열교환기(330)는 폐열 기체와 작동 유체를 열교환하여 작동 유체를 가열하는 역할을 하며, 배출 규제 조건이 없는 열원이다. 제2 열교환기(330)로 유입(A)되는 폐열 기체의 온도는 제1 열교환기(310)로 유입되는 폐열 기체의 온도보다 상대적으로 높다. 이는 제2 열교환기(330)가 폐열원과 상대적으로 가까운 거리에 배치되기 때문이다.

- [0045] 제2 열교환기(330)로는 리큐퍼레이터(200)를 통과한 작동 유체 및 제1 열교환기(310)에서 가열된 작동 유체가 혼합된 작동 유체의 유량이 유입된다. 작동 유체의 혼합을 위해 제1 열교환기(310)와 제2 열교환기(330)의 사이에는 믹서(M)가 설치된다. 믹서(M)는 9번 stream과 10번 stream의 합류점에 구비된다. 제2 열교환기(330)는 이 혼합된 유량의 작동 유체를 가열한다. 제2 열교환기(330)에서 가열된 작동 유체는 터빈(400)으로 공급된다 (stream 1).
- [0046] 제2 열교환기(330)로 유입되는 유량이 최초 압축기(100)의 후단에서 분기된 두 개의 스트림(stream)이 다시 더해진 유량이므로, 발전 시스템 전체의 유량이 제2 열교환기(330)로 유입되는 셈이다. 따라서 터빈(400)으로 유입되는 유량은 전체 유량에 해당하며, 압축기(100) 후단에서 작동 유체의 유량을 분기하더라도 터빈(400)으로 유입되는 전체 유량은 변하지 않고 동일하게 유지될 수 있다.
- [0047] 터빈(400)은 작동 유체에 의해 구동되며, 발전기(450)를 구동시킴으로써 전력을 생산하는 역할을 한다. 터빈(400)을 통과하면서 작동 유체가 팽창되므로 터빈(400)은 팽창기(expander)의 역할도 하게 된다.
- [0048] 또한, 도 2에 도시된 바와 같이, 터빈(400)과 압축기(100)의 속도를 동일하게 설계하면 터빈(400)과 압축기(100)를 동축으로 설계하여 터빈(400)이 발전기(450) 및 압축기(100)를 동시에 구동시킬 수 있다. 이때, 터빈(400)은 발전기(450)의 출력 주파수에 대응하는 회전수로 회전해야 하나 압축기(100)와 동축 설계 시 발전기(450)의 출력 주파수에 대응하는 회전수로 회전할 수 없다. 따라서 터빈(400)과 발전기(450)의 사이에 기어 박스나 토크 컨버터() 등을 구비함으로써 터빈(400)의 출력을 발전기(450)의 출력 주파수에 대응하도록 변환하여 공급할 수 있다.
- [0049] 진술한 구성을 갖는 본 발명의 일 실시 예에 따른 폐열 회수 발전 시스템에 있어서, 작동 유체의 유량을 제어하여 폐열원의 온도 및 유량 변화에 대응하는 방법에 대해 설명하기로 한다.
- [0050] 도 3은 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 세부 구성을 도시한 모식도이다. 도 4는 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 터빈 입구 온도와 시스템 출력의 일 예를 도시한 그래프이고, 도 5는 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 고온측 폐열 회수 히터에서의 온도 분포를 나타낸 그래프이며, 도 6은 도 1의 폐열 회수 발전 시스템에 따른 저온측 폐열 회수 히터에서의 온도 분포를 나타낸 그래프이다.
- [0051] 먼저 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시 예에 따른 폐열 회수 발전 시스템은 압축기(100)의 입구(4번 stream)와, 저온측 열원인 제1 열교환기(310)의 유입단(6번 stream)에 유량을 측정하기 위한 유량 측정기를 각각 설치할 수 있다.
- [0052] 또한, 저온측 제1 열교환기(310)와 고온측 제2 열교환기(330)의 사이 중 믹서(M)의 전단(7번 stream), 그리고 세퍼레이터(S)와 리큐퍼레이터(200)의 사이(8번 stream)에는 유량 조절 밸브가 설치될 수 있다.
- [0053] 7번 stream에 설치되는 유량 조절 밸브는 열원의 최종 출구(C stream)의 온도를 측정해 그 결과에 따라 열흡수가 최대가 되도록 개폐된다. 즉, C stream의 온도가 배출 규제 조건의 온도 보다 높으면 7번 stream의 유량 조절 밸브가 개방되도록 제어되어 제1 열교환기(310)로 이송되는 작동 유체의 유량을 증가시킴으로써 C stream의 온도를 낮춰준다. 반대로 C stream의 온도가 배출 규제 조건의 온도 보다 낮으면 유량 조절 밸브가 폐쇄되도록 제어되어 제1 열교환기(310)로 이송되는 작동 유체를 차단함으로써 C stream의 온도를 일정하게 유지해준다. 이러한 과정에 의해 C stream의 온도를 일정하게 유지할 수 있다.
- [0054] 또한, 유량 조절 밸브가 7번 stream에 설치됨으로써 밸브의 압력을 조절해 리큐퍼레이터(200)에서 믹서(M)를 향하는 9번 stream의 작동 유체가 7번 stream으로 역류되는 것을 방지할 수 있다.
- [0055] 한편, 열원에서 공급되는 열량이 늘어나 시스템 전체의 유량 증가가 필요한 경우가 발생할 수 있다.
- [0056] 이 경우에는 4번과 6번 stream의 작동 유체의 유량을 측정한 후 7번 stream의 유량 조절 밸브는 C stream의 온도를 일정하게 유지하도록 한다. 동시에 8번 stream에 설치된 유량 조절 밸브를 열어 전체 발전 시스템의 유량을 증가시킬 수 있다. 부족한 작동 유체의 유량은 별도의 작동 유체 저장 탱크()를 구비하고, 저장 탱크로부터 부족한 유량만큼 발전 시스템 내로 작동 유체를 공급하게 된다.
- [0057] 반대로 열원에서 공급되는 열량이 부족하여 시스템 전체의 유량 감소가 필요한 경우가 발생할 수 있다.
- [0058] 이 경우에는 6번 stream의 작동 유체의 유량을 측정한 후 7번 stream의 유량 조절 밸브는 C stream의 온도를 일정하게 유지하도록 한다. 동시에 8번 stream에 설치된 유량 조절 밸브를 닫아 전체 발전 시스템의 유량을 감소시킬 수 있다. 이를 위해 터빈(400)의 입구와 출구 사이에 바이패스 밸브()가 구비되고, 바이패스 밸브()는 별

도의 이송관을 통해 저장 탱크()와 연결되는 것이 바람직하다. 바이패스 밸브()가 작동되면 제2 열교환기(330)를 거친 작동 유체가 터빈(400) 쪽으로 보내지지 않고 별도의 이송관()을 통해 저장 탱크()로 회수된다.

- [0059] 전술한 작동 유체의 유량 조절과 관련하여, 압축기(100) 입구의 온도를 일정하게 유지하기 위해 쿨러(500)의 유량을 조절할 수도 있다.
- [0060] 전술한 유량 조절 방법에 따라 작동 유체의 유량을 조절함에 있어, 시스템의 출력과 온도 관계를 간단히 설명하면 다음과 같다.
- [0061] 도 4에 도시된 바와 같이, 시스템에 주어지는 열량이 일정하면(C stream의 온도가 일정하게 유지될 때), 시스템의 설계 시 전체 유량이 증가할 때 터빈(400) 입구의 온도가 낮아지고, 전체 유량이 감소할 때 터빈(400) 입구의 온도가 높아진다. 이러한 상관 관계에 따라 전체 시스템이 낼 수 있는 최대 출력은 열원의 특성에 따라 다르기는 하지만 최적의 설계점이 존재하게 된다(예를 들어, 열원의 온도가 섭씨 490도라면 약 섭씨 370도 전후로 최적 설계점이 됨).
- [0062] 일반적으로 터빈(400) 입구의 온도가 높아지면 시스템 전체의 출력이 증가하지만, 초임계 이산화탄소 발전 사이클의 특성 상 터빈(400) 입구의 온도가 낮더라도 유량을 증가시키는 것이 시스템의 출력 증가에 유리한 최적 설계점이 있다.
- [0063] 열원의 특성에 따라 다르기는 하나, 예를 들어 제2 열교환기(330)에서 폐열 기체와 작동 유체의 온도 차이는 도 5에 도시된 바와 같은 분포를 보일 수 있으며, 제1 열교환기(310)에서 폐열 기체와 작동 유체의 온도 차이는 도 6에 도시된 바와 같은 분포를 보일 수 있다.
- [0064] 이러한 상관관계를 고려할 때, 본 발명은 제1 열교환기(310)와 제2 열교환기(330) 사이의 작동 유체의 온도가 작아질수록 시스템의 전체 효율을 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 본 발명에서는 약 10도의 온도 차이를 갖는 것이 최적 설계점이 될 수 있다.
- [0065] 이상에서는 한 개의 리큐퍼레이터를 활용한 발전 시스템에 대해 설명하였으며, 이하에서는 복수의 리큐퍼레이터를 활용한 발전 시스템에 대해 설명하기로 한다(편의상 전술한 실시 예와 동일한 구성에 대해서는 상세한 설명을 생략하기로 한다). 도 7은 본 발명의 다른 실시 예에 따른 폐열 회수 발전 시스템을 도시한 모식도이다.
- [0066] 도 7에 도시된 바와 같이, 본 발명의 다른 실시 예에 따른 폐열 회수 발전 시스템은 압축기(100a) 후단의 세퍼레이터(S)를 통해 분기된 유량이 유입되는 제1 리큐퍼레이터(200a)와, 제1 리큐퍼레이터(200a)를 통과한 유량이 유입되는 제2 리큐퍼레이터(200b)를 구비할 수 있다.
- [0067] 압축기(100a)를 통과한 작동 유체는 세퍼레이터(S)에서 분기되어 제1 열교환기(310a) 또는 제1 리큐퍼레이터(200a)로 보내진다.
- [0068] 제1 열교환기(310a)로 보내진(7번 stream) 작동 유체는 폐열 기체와 열교환해 1차로 가열된 뒤 믹서(M)로 공급되고(8번 stream), 제1 리큐퍼레이터(200a)로 보내진(9번 stream) 작동 유체는 터빈(400a) 및 제2 리큐퍼레이터(200b)를 통과한 작동 유체와 열교환해 1차로 가열된 뒤 제2 리큐퍼레이터(200b)로 보내진다(10번 stream). 제2 리큐퍼레이터(200b)에서 2차로 가열된 작동 유체는 믹서(M)로 보내진다(11번 stream). 믹서(M)에서 8번 및 11번 stream의 작동 유체가 혼합된 뒤 제2 열교환기(330a)로 보내지고(12번 stream), 제2 열교환기(330a)에서 폐열 기체와 열교환해 가열된 고온의 작동 유체는 터빈(400a)으로 공급된다.
- [0069] 터빈(400a)을 통과하며 팽창 및 증온 상태가 된 작동 유체는 제2 리큐퍼레이터(200b) 및 제1 리큐퍼레이터(200a)를 순차적으로 거치면서 1차로 냉각된다(2번 및 3번 stream). 냉각된 작동 유체는 쿨러(500)로 보내져(4번 stream) 저온으로 냉각된 뒤 다시 압축기(100a)로 공급된다.
- [0070] 이와 같이, 터빈(400a)을 통과한 작동 유체가 제2 리큐퍼레이터(200b)를 먼저 거치므로 제2 리큐퍼레이터(200b)는 고온측 복열기가 되며, 제1 리큐퍼레이터(200a)는 저온측 복열기가 된다.
- [0071] 이렇게 복수의 리큐퍼레이터를 적용하는 경우, 고온측과 저온측 복열기에 각기 다른 소재를 사용할 수 있어 제작 단가가 감소되는 효과가 있다.
- [0072] 전술한 바와 같이, 본 발명의 실시 예들에 따른 폐열 회수 발전 시스템은 압축기 후단에서 분기되는 작동 유체의 분기량을 조절하여 폐열 회수 히터의 열교환량을 조절함으로써 전체 시스템의 유량 변경 없이 폐열원의 온도와 유량 변동에 대응할 수 있다. 이에 따라 시스템을 설계점 근처에서 운전 가능하므로 전체 발전 시스템의 성능을 일정하게 유지할 수 있다.

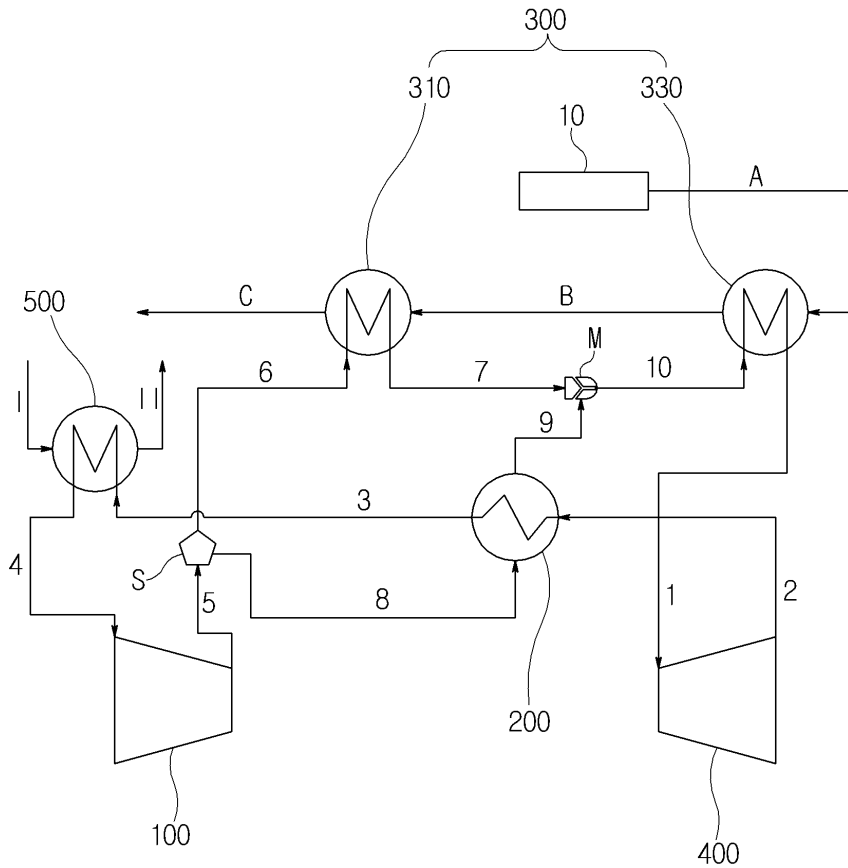
[0073] 앞에서 설명되고 도면에 도시된 본 발명의 일 실시 예는, 본 발명의 기술적 사상을 한정하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 발명의 권리범위는 청구범위에 기재된 사항에 의해서만 제한되고, 본 발명의 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상을 다양한 형태로 개량 및 변경하는 것이 가능하다. 따라서 이러한 개량 및 변경이 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것인 한, 본 발명의 권리범위에 속하게 될 것이다.

부호의 설명

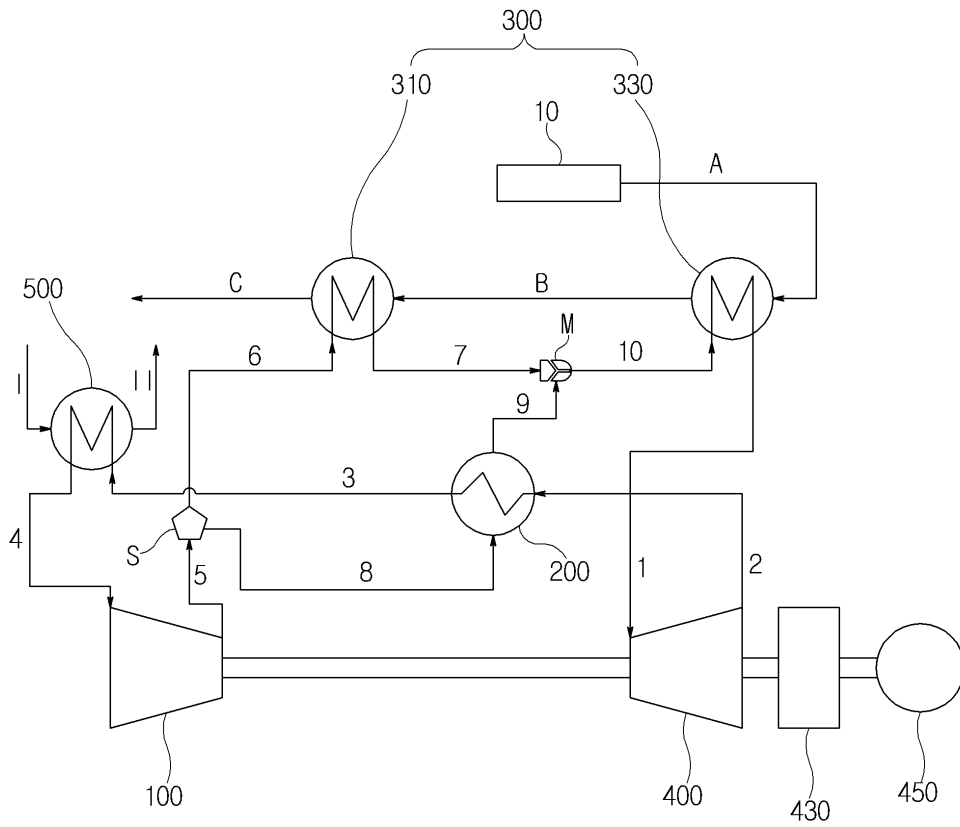
[0074] 100: 압축기 200, 200a, 200b: 리큐퍼레이터
 310: 제1 열교환기 330: 제2 열교환기
 400: 터빈 450: 발전기
 500: 쿨러

도면

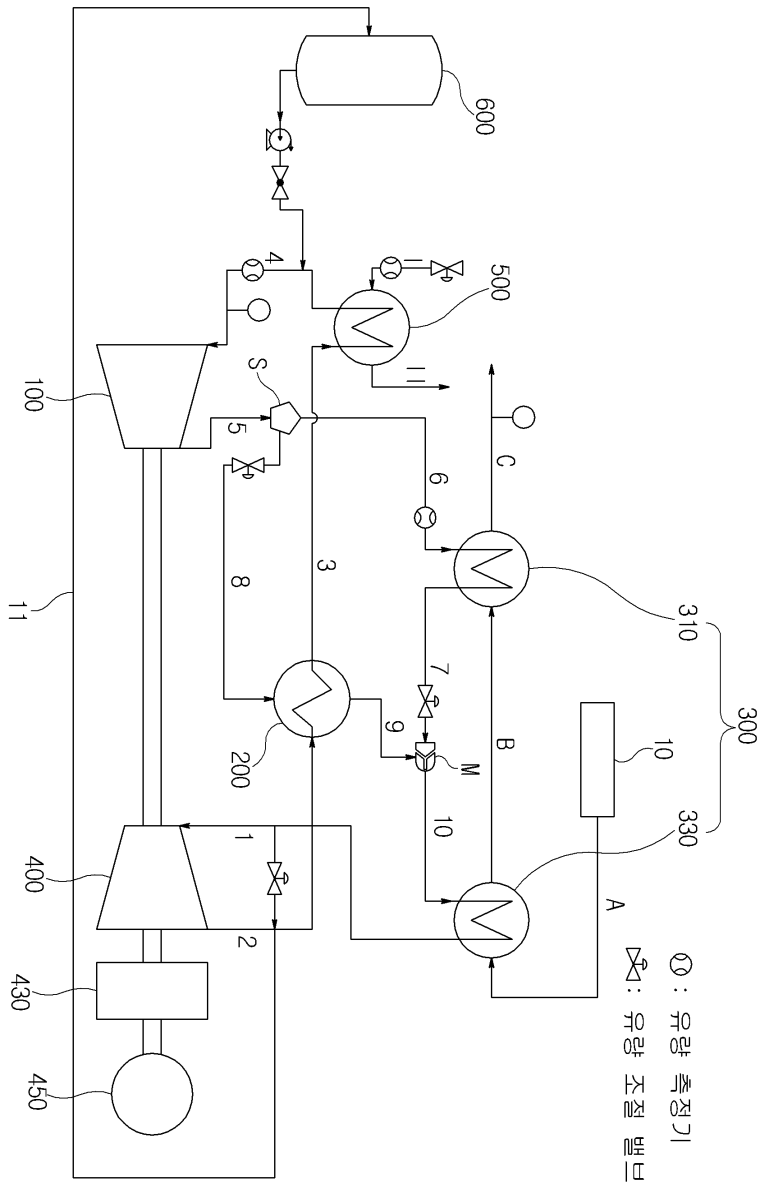
도면1



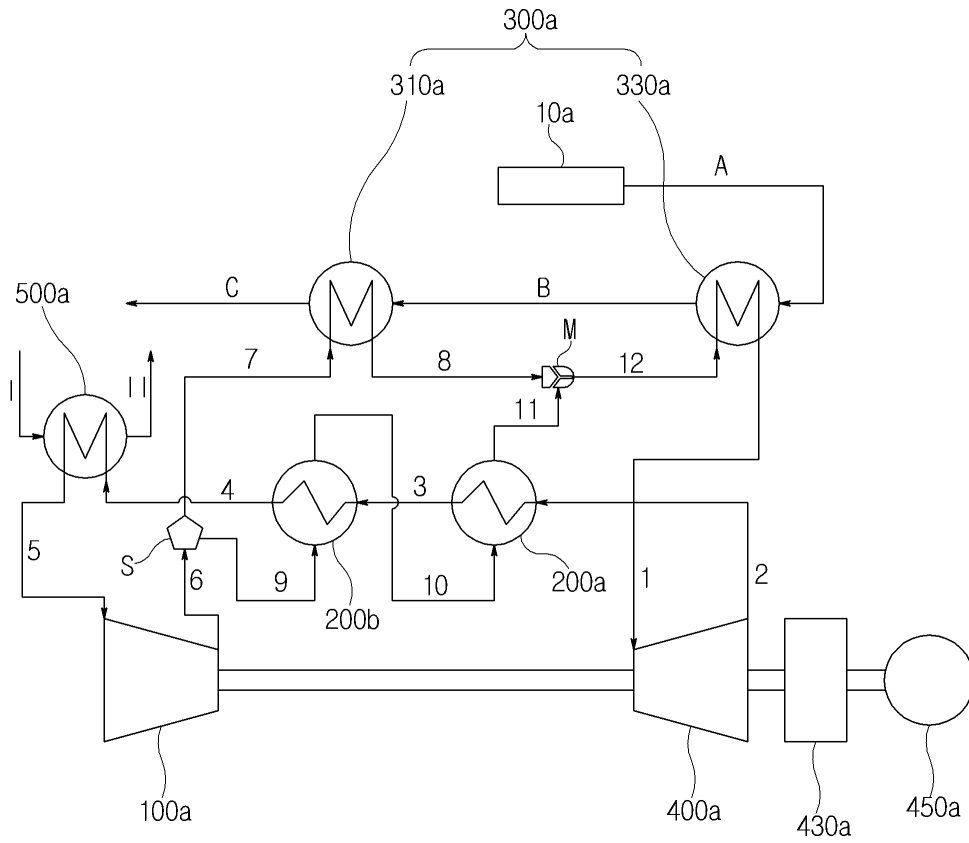
도면2



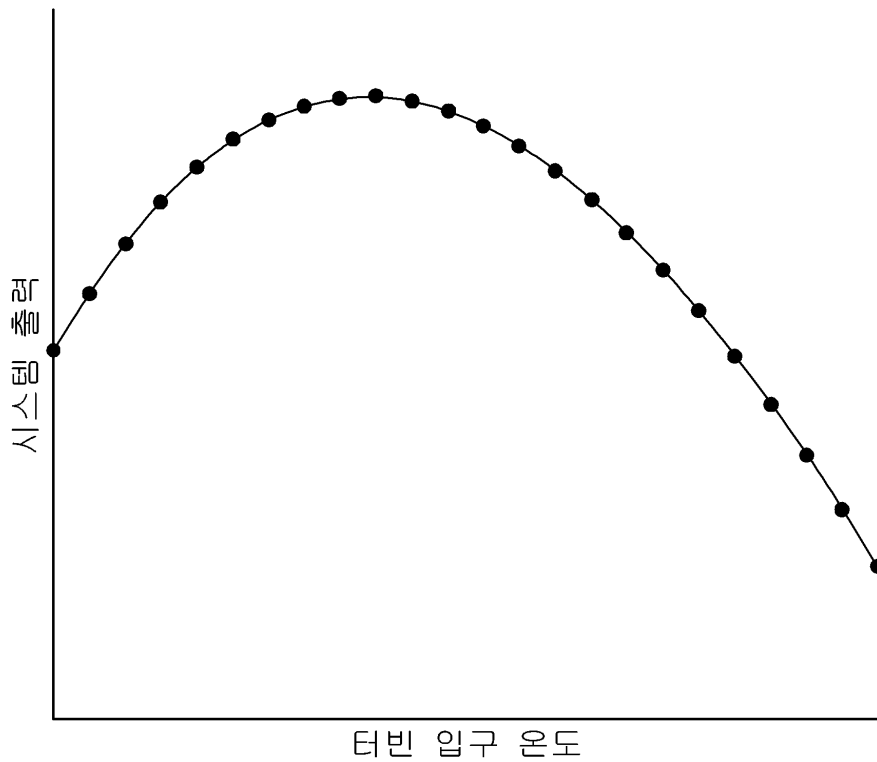
도면3



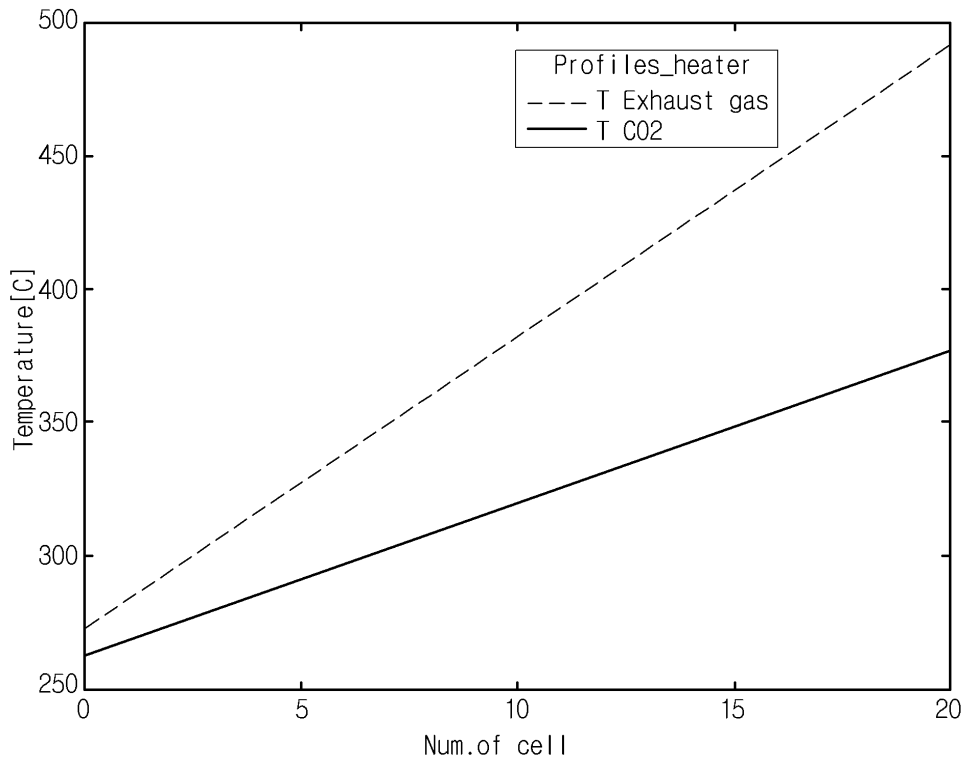
도면4



도면5



도면6



도면7

