



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0026504
(43) 공개일자 2019년03월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F24H 9/00 (2006.01) F23L 7/00 (2006.01)
F24H 9/20 (2006.01) F28D 21/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F24H 9/0084 (2013.01)
F23L 7/002 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0113509
(22) 출원일자 2017년09월05일
심사청구일자 2017년09월05일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
이창언
경기도 부천시 중동로280번길 63, 606동 302호(중동, 중흥마을 극동, 두산아파트)
이도현
서울특별시 중랑구 면목로79길 13, 501호(면목동, 진한아트빌)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인세원

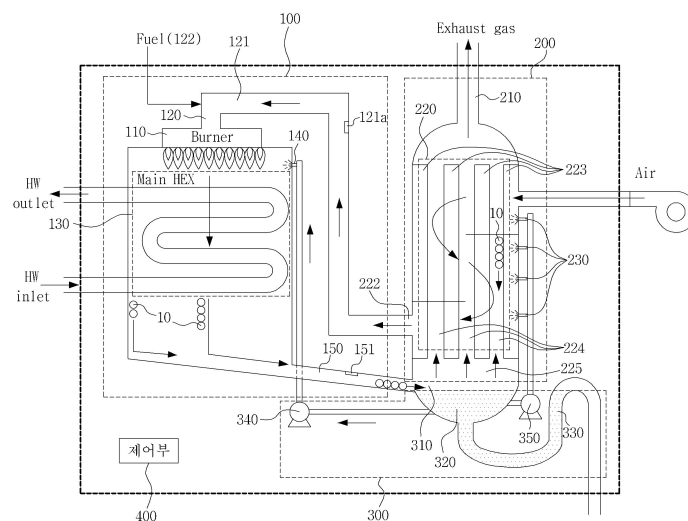
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러**

(57) 요약

본 발명은 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 물순환량을 자유롭게 제어하여 연소를 위한 공기인 외기의 습도를 일정하게 유지하고, 보일러의 연소부의 배기 온도를 일정한 범위로 유지하는 것을 통해 고효율로 작동하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 관한 것이다.

대표도



(52) CPC특허분류

F24H 9/0036 (2013.01)

F24H 9/2035 (2013.01)

F28D 21/0005 (2013.01)

(72) 발명자

박태준

인천광역시 남구 인하로77번길 29-8, 206호(용현동, 인하리더스)

유봉진

인천광역시 남구 경인남길 64(용현동, 엘림주택)

장수호

인천광역시 남구 석바위로 102, 303호(주안동, 광성오피스텔)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 B0010565

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 지역혁신센터조성사업

연구과제명 고기능성밸브기술지원 지역혁신센터사업

기 여 율 1/1

주관기관 동아대학교 산학협력단

연구기간 2017.03.01 ~ 2018.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 있어서,

일정한 습도의 공기와 연료를 공급받아 연소시켜 난방수에 상기 연소의 열에너지를 공급한 후 상기 연소의 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 수분을 공급하여 일정한 범위의 온도를 가진 배기와 응축수(10)를 폐열회수부(200)와 응축수부(300)에 유출하는 연소부(100);

상기 연소부(100)를 통해 유출된 상기 배기를 배출하고 외기를 유입시켜 상기 배기의 열에너지를 상기 외기에 공급하고 응축수부(300)에 고인 응축수를 상기 외기에 수분으로 공급하여 일정한 습도의 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하는 폐열회수부(200);

상기 연소부(100)와 상기 폐열회수부(200)에서 응축된 응축수(10)를 저장하고 상기 연소부(100)와 상기 폐열회수부(200)에 저장된 상기 응축수(10)를 공급하는 응축수부(300); 및

상기 연소부(100)에서 연소될 공기가 일정한 습도를 가지도록 상기 응축수부(300)가 상기 폐열회수부(200)에 응축수를 공급하는 것을 제어하고 상기 연소부(100)에서 유출되는 상기 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 상기 응축수부(300)가 상기 연소부(100)에 응축수를 공급하는 것을 제어하는 제어부(400);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 연소부(100)는

연소공급부(120)로부터 공급받은 일정한 습도의 공기와 연료를 연소시키는 버너부(110);

상기 버너부(110)가 일정한 습도의 공기와 연료를 연소시킬 수 있도록 일정한 습도의 공기와 연료를 공급하는 연소공급부(120);

상기 버너부(110)에서 일정한 습도의 공기와 연료의 연소로 인한 열에너지를 난방수에 공급하는 난방수열교환부(130);

상기 난방수열교환부(130)에 난방수에 열에너지를 공급한 후 유출부(150)를 통해 상기 폐열회수부(200)에 유출되는 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 상기 응축수부(300)를 통해 상기 배기에 수분을 공급하는 제1수분분사부(140); 및

일정한 범위의 온도를 가진 상기 배기와 상기 응축수(10)를 폐열회수부(200)와 응축수부(300)에 유출하는 유출부(150);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 연소공급부(120)는

상기 일정한 습도의 공기를 상기 버너부(110)에 공급하는 공기공급부(121); 및

상기 연료를 상기 버너부(110)에 공급하는 연료공급부(122);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 공기공급부(121)는

상기 일정한 습도의 공기를 상기 버너부(110)에 공급하기 위해 상기 공기의 습도를 감지하여 감지된 결과를 상기 제어부(400)에 전송하는 습도센서(121a);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 유출부(150)는

일정한 범위의 온도를 가진 상기 배기를 상기 폐열회수부(200)에 유출하기 위해 상기 폐열회수부(200)에 유출되는 상기 배기의 온도를 감지하여 감지된 결과를 상기 제어부(400)에 전송하는 온도센서(151);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 폐열회수부(200)는

상기 연소부(100)로부터 유출된 배기를 외부로 배출하는 배기부(210);

외기를 유입시켜 상기 배기의 열에너지를 상기 외기에 공급하고 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하는 외기열교환부(220); 및

상기 외기열교환부(220)가 일정한 습도의 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하기 위해 상기 응축수부(300)에 고인 응축수를 상기 외기에 수분으로 공급하는 제2수분분사부(230);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 외기열교환부(220)는

외부의 공기인 외기에 유입되는 외기유입부(221);

상기 외기유입부(221)를 통해 유입된 상기 외기가 외기통로부(223)를 통과하는 동안 배기통로부(224)를 통과하는 상기 배기로부터 열에너지를 공급받고 상기 제2수분분사부(230)를 통해 수분을 공급 받아 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 일정한 습도의 공기로 사용하기 위해 상기 연소부(100)에 유출하는 외기유출부(222);

상기 외기유입부(221)를 통해 유입된 상기 외기가 상기 외기유출부(222)를 향하여 통과하는 동안 배기통로부(224)를 통과하는 상기 배기로부터 열에너지를 공급받고 상기 제2수분분사부(230)를 통해 수분을 공급 받아 상기 외기가 상기 외기유출부(222)를 향하여 통과하도록 하는 외기통로부(223);

상기 연소부(100)에서 유출된 배기가 상기 배기부(210)를 향하여 통과하는 동안 상기 외기통로부(223)를 통과하는 상기 외기에 열에너지를 공급하는 상기 배기가 상기 배기부(210)를 향하여 통과하도록 하는 배기통로부(224); 및

상기 외기통로부(223)에서 발생된 응축수(10)를 상기 응축수부(300)로 유출하는 응축수유출부(225);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 응축수부(300)는

상기 연소부(100)로부터 유출된 상기 응축수(10)를 유입시키는 유입부(310);

상기 유입부(310)로부터 유입된 상기 응축수(10)와 응축수유출부(225)로부터 유입된 응축수(10)를 저장하는 응축수저장부(320);

상기 응축수저장부(320)에 저장된 응축수(10)가 특정 한도 이상인 경우 특정 한도 이상의 응축수(10)를 유출시키는 응축수유출부(330);

상기 응축수저장부(320)에 저장된 상기 응축수(10)를 제1수분분사부(140)로 밀어 올리는 제1수분펌프부(340); 및

상기 응축수저장부(320)에 저장된 상기 응축수(10)를 제2수분분사부(230)로 밀어 올리는 제2수분펌프부(350);
를 포함하는 것을 특징으로 하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 물순환량을 자유롭게 제어하는 것을 통해 연소를 위한 공기인 외기의 습도를 일정하게 유지하고 보일러의 연소부의 배기 온도를 일정한 범위로 유지하여 고효율로 작동하는 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기존에 폐열 회수형 응축형 보일러에서 열효율 상승방안에 대한 연구도 일부 진행되었다.

[0003] Joao[Barros JP, Azevedo JLT, Monteiro L. Effect of relative humidity in the efficiency of condensing gas water heater appliance. Appl. Therm. Eng., 2014;65:66-73.]는 유입되는 공기의 상대습도가 온수기의 효율에 미치는 영향에 대해 평가하여, 습도가 높은 경우 부하가 낮을수록 효율이 증가하지만, 부하가 높은 경우에는 잠열이 차지하는 비율은 증가하더라도 전달되는 잠열 및 현열의 감소로 인해 효율은 약간 떨어질 수도 있음을 보여주었다.

[0004] 열전달 계수에 대한 상대 습도의 영향은 Zhang[Zhang J, Gupta A, Baker J. Effect of Relative Humidity on the prediction of Natural Convection Heat Transfer Coefficients. Heat Transfer Eng 2007;28:335-342]에 의해 제시되었으며, 상대 습도가 증가함에 따라 열전달 계수가 현저하게 증가하는 것을 보여주었다.

[0005] Pugh[Pugh DG, Bowen PJ, Marsh R, Crayford AP, Runyon J, Morris S, Valera-Medina A, Giles A. Dissociative influence of H₂O vapour/spray on lean blowoff and NO_x reduction of heavily carbonaceous syngas swirling flames. Combust Flame 2017;177:37-48.]는 수증기 분사로 인한 화염 안정성 및 NO_x 감소에 대해 연구하였고, 물을 화염 안전 인자로 사용하여 수증기 분사에 따라 NO_x, CO 배출농도를 감소시킬 수 있음을 보여 주었다.

[0006] 또 보다 적극적으로 효율 및 공해문제를 해결하기 위해 Kuck[Kuck J. EFFICIENCY OF VAPOUR-PUMP-EQUIPPED CONDENSING BOILERS. Appl. Therm. Eng., 1996;16:233-244.]은 증기 펌프(Vapor-pump) 과정을 도입하였다. 이 과정은 배기가스에서 수분을 회수하여 이 수분을 유입공기에 공급하여 증발시키면서 폐열을 회수하는 방식으로 배기 및 흡기 측에 두 개의 분사탑(rain tower)을 갖는다.

[0007] 최근에 본 발명자도 EGR과 응축수 재순환 (CWR)을 동시에 적용하여 기존의 보일러보다 높은 효율과 낮은 NO_x 배출량을 기대할 수 있는 새로운 보일러를 제안한 바 있다[Lee CE, Yu B, Lee S. An analysis of the thermodynamic efficiency for exhaust gas recirculation-condensed water recirculation-waste heat recovery condensing boilers (EGR-CWR-WHR CB). Energy 2015;86: 267-275.].

[0008] 그러나 이들 종래의 물순환 보일러의 경우는 배기가스에서 응축되는 물만을 공기측으로 순환하는 방식을 채택하고 있어, 보일러의 작동조건에 따라서는 순환에 필요한 물의 양에 제한을 받기 때문에 보일러의 효율 및 NO_x 저감을 자유롭게 제어하기가 어렵다는 문제점을 해결하기 위함이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 등록실용신안공보 20-0195776
(특허문헌 0002) 공개특허 10-2013-0058195

비특허문헌

- [0010] (비특허문헌 0001) Barros JP, Azevedo JLT, Monteiro L. Effect of relative humidity in the efficiency of condensing gas water heater appliance. Appl. Therm. Eng., 2014;65:66-73.
(비특허문헌 0002) Zhang J, Gupta A, Baker J. Effect of Relative Humidity on the prediction of Natural Convection Heat Transfer Coefficients. Heat Transfer Eng 2007;28:335-342
(비특허문헌 0003) Pugh DG, Bowen PJ, Marsh R, Crayford AP, Runyon J, Morris S, Valera-Medina A, Giles A. Dissociative influence of H₂O vapour/spray on lean blowoff and NO_x reduction of heavily carbonaceous syngas swirling flames. Combust Flame 2017;177:37-48.
(비특허문헌 0004) Kuck J. EFFICIENCY OF VAPOUR-PUMP-EQUIPPED CONDENSING BOILERS. Appl. Therm. Eng., 1996;16:233-244.
(비특허문헌 0005) Lee CE, Yu B, Lee S. An analysis of the thermodynamic efficiency for exhaust gas recirculation-condensed water recirculation-waste heat recovery condensing boilers (EGR-CWR-WHR CB). Energy 2015;86: 267-275.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명이 해결하려는 과제는, 상기 문제점을 극복하기 위한 것으로서, 물순환량을 자유롭게 제어하여 연소를 위한 공기인 외기의 습도를 일정하게 유지하고, 보일러의 연소부의 배기 온도를 일정한 범위로 유지할 수 있게 하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명은 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 관한 것으로서, 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 있어서, 일정한 습도의 공기와 연료를 공급받아 연소시켜 난방수에 상기 연소의 열에너지를 공급한 후 상기 연소의 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 수분을 공급하여 일정한 범위의 온도를 가진 배기와 응축수(10)를 폐열회수부(200)와 응축수부(300)에 유출하는 연소부(100); 상기 연소부(100)를 통해 유출된 상기 배기를 배출하고 외기를 유입시켜 상기 배기의 열에너지를 상기 외기에 공급하고 응축수부(300)에 고인 응축수를 상기 외기에 수분으로 공급하여 일정한 습도의 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하는 폐열회수부(200); 상기 연소부(100)와 상기 폐열회수부(200)에서 유출된 응축수(10)를 저장하고 상기 연소부(100)와 상기 폐열회수부(200)에 저장된 상기 응축수(10)를 공급하는 응축수부(300); 및 상기 연소부(100)에서 연소될 공기가 일정한 습도를 가지도록 상기 응축수부(300)가 상기 폐열회수부(200)에 응축수를 공급하는 것을 제어하고 상기 연소부(100)에서 유출되는 상기 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 상기 응축수부(300)가 상기 연소부(100)에 응축수를 공급하는 것을 제어하는 제어부(400);를 포함한다.
- [0013] 이때, 상기 연소부(100)는 연소공급부(120)로부터 공급받은 일정한 습도의 공기와 연료를 연소시키는 버너부(110); 상기 버너부(110)가 일정한 습도의 공기와 연료를 연소시킬 수 있도록 일정한 습도의 공기와 연료를 공급하는 연소공급부(120); 상기 버너부(110)에서 일정한 습도의 공기와 연료의 연소로 인한 열에너지를 난방수에 공급하는 난방수열교환부(130); 상기 난방수열교환부(130)에 난방수에 열에너지를 공급한 후 유출부(150)를 통해 상기 폐열회수부(200)에 유출되는 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 상기 응축수부(300)를 통해 상기 배기에 수분을 공급하는 제1수분분사부(140); 및 일정한 범위의 온도를 가진 상기 배기와 상기 응축수(10)를 폐열회수부(200)와 응축수부(300)에 유출하는 유출부(150);를 포함한다.

- [0014] 또한 이때, 상기 연소공급부(120)는 상기 일정한 습도의 공기를 상기 버너부(110)에 공급하는 공기공급부(121); 및 상기 연료를 상기 버너부(110)에 공급하는 연료공급부(122);를 포함한다.
- [0015] 또한 이때, 상기 공기공급부(121)는 상기 일정한 습도의 공기를 상기 버너부(110)에 공급하기 위해 상기 공기의 습도를 감지하여 감지된 결과를 상기 제어부(400)에 전송하는 습도센서(121a);를 포함한다.
- [0016] 또한 이때, 상기 유출부(150)는 일정한 범위의 온도를 가진 상기 배기를 상기 폐열회수부(200)에 유출하기 위해 상기 폐열회수부(200)에 유출되는 상기 배기의 온도를 감지하여 감지된 결과를 상기 제어부(400)에 전송하는 온도센서(151);를 포함한다.
- [0017] 또한 이때, 상기 폐열회수부(200)는 상기 연소부(100)로부터 유출된 배기를 외부로 배출하는 배기부(210); 외기를 유입시켜 상기 배기의 열에너지를 상기 외기에 공급하고 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하는 외기열교환부(220); 및 상기 외기열교환부(220)가 일정한 습도의 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하기 위해 상기 응축수부(300)에 고인 응축수를 상기 외기에 수분으로 공급하는 제2수분분사부(230);를 포함한다.
- [0018] 또한 이때, 상기 외기열교환부(220)는 외부의 공기인 외기에 유입되는 외기유입부(221); 상기 외기유입부(221)를 통해 유입된 상기 외기가 외기통로부(223)를 통과하는 동안 배기통로부(224)를 통과하는 상기 배기로부터 열에너지를 공급받고 상기 제2수분분사부(230)를 통해 수분을 공급 받아 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 일정한 습도의 공기로 사용하기 위해 상기 연소부(100)에 유출하는 외기유출부(222); 상기 외기유입부(221)를 통해 유입된 상기 외기가 상기 외기유출부(222)를 향하여 통과하는 동안 배기통로부(224)를 통과하는 상기 배기로부터 열에너지를 공급받고 상기 제2수분분사부(230)를 통해 수분을 공급 받아 상기 외기가 상기 외기유출부(222)를 향하여 통과하도록 하는 외기통로부(223); 상기 연소부(100)에서 유출된 배기가 상기 배기부(210)를 향하여 통과하는 동안 상기 외기통로부(223)를 통과하는 상기 외기에 열에너지를 공급하는 상기 배기가 상기 배기부(210)를 향하여 통과하도록 하는 배기통로부(224); 및 상기 외기통로부(223)에서 발생된 응축수(10)를 상기 응축수부(300)로 유출하는 응축수유출부(225);를 포함한다.
- [0019] 또한 이때, 상기 응축수부(300)는 상기 연소부(100)로부터 유출된 상기 응축수(10)를 유입시키는 유입부(310); 상기 유입부(310)로부터 유입된 상기 응축수(10)와 응축수유출부(225)로부터 유입된 응축수(10)를 저장하는 응축수저장부(320); 상기 응축수저장부(320)에 저장된 응축수(10)가 특정 한도 이상인 경우 특정 한도 이상의 응축수(10)를 유출시키는 응축수유출부(330); 상기 응축수저장부(320)에 저장된 상기 응축수(10)를 제1수분분사부(140)로 밀어 올리는 제1수분펌프부(340); 및 상기 응축수저장부(320)에 저장된 상기 응축수(10)를 제2수분분사부(230)로 밀어 올리는 제2수분펌프부(350);를 포함한다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명에 따르면 연소를 위한 공기인 외기의 습도를 일정하게 유지하고 보일러의 연소부의 배기 온도를 일정한 범위로 유지하는 것을 통해 고효율로 작동할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러의 개념도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 폐열회수부(200)와 응축수부(300)의 예시도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 폐열회수부(200)와 응축수부(300)의 예시도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러의 개념도이다.
- 도 5는 온도변화에 따른 포화수증기압 선도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 응축수저장부 검사체적에 출입하는 응축수부(300)의 개략도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 배기가스의 본체(연소부) 출구 온도(T_{GB0})에 따른 효율(실선) 및 최종 배출 온도(점선) 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러의 본체(연소부) 출구온도에 따른 WHR-보일러의 폐열 회수기에서의 열수지 및 보일러 효율 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러의 본체(연소부) 출구온도에 따른 WSWHR-보일러의 폐열 회수기에서의 열수지 및 보일러 효율 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러의 본체(연소부) 출구 온도 (T_{GB0})에 따른 WSWHR-보일러의 물분사 시스템의 물질 수지 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용을 설명하기에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 할 것이다.
- [0023] 또한, 본 발명에 관련된 공지 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 구체적인 설명을 생략하였음에 유의해야 할 것이다.
- [0025] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 관해 도 1 내지 4을 참고하여 상세히 설명한다.
- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러의 개념도이다.
- [0028] 도 1에 도시한 바와 같이, 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 있어서, 일정한 습도의 공기와 연료를 공급받아 연소시켜 난방수에 상기 연소의 열에너지를 공급한 후 상기 연소의 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 수분을 공급하여 일정한 범위의 온도를 가진 배기와 응축수(10)를 폐열회수부(200)와 응축수부(300)에 유출하는 연소부(100)와 상기 연소부(100)를 통해 유출된 상기 배기를 배출하고 외기를 유입시켜 상기 배기의 열에너지를 상기 외기에 공급하고 응축수부(300)에 고인 응축수를 상기 외기에 수분으로 공급하여 일정한 습도의 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하는 폐열회수부(200)와 상기 연소부(100)와 상기 폐열회수부(200)에서 응축된 응축수(10)를 저장하고 상기 연소부(100)와 상기 폐열회수부(200)에 저장된 상기 응축수(10)를 공급하는 응축수부(300)와 상기 연소부(100)에서 연소될 공기가 일정한 습도를 가지도록 상기 응축수부(300)가 상기 폐열회수부(200)에 응축수를 공급하는 것을 제어하고 상기 연소부(100)에서 유출되는 상기 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 상기 응축수부(300)가 상기 연소부(100)에 응축수를 공급하는 것을 제어하는 제어부(400)로 이루어진다.
- [0029] 아울러, 상기 연소부(100)에 연소를 위해 공급되는 상기 일정한 습도는 절대습도 $0.2[H_2O(kg)/Air(kg)]$ 로 공기 1kg에 수분이 0.2kg의 일정한 습도이다.
- [0030] 또한 아울러, 상기 일정한 범위의 온도를 가진 배기의 온도 범위는 50 °C 내지 70 °C이다.
- [0031] 또한 아울러, 상기 연소부(100)의 응축수(10)는 상기 난방수에 상기 연소의 열에너지를 공급하여 배기의 온도가 낮아 지는 것으로 인해 생성된 것이다.
- [0032] 또한 아울러, 외기는 외부의 공기를 말한다.
- [0034] 이때, 도 1에 도시한 바와 같이, 상기 연소부(100)는 연소공급부(120)로부터 공급받은 일정한 습도의 공기와 연료를 연소시키는 버너부(110)와 상기 버너부(110)가 일정한 습도의 공기와 연료를 연소시킬 수 있도록 일정한 습도의 공기와 연료를 공급하는 연소공급부(120)와 상기 버너부(110)에서 일정한 습도의 공기와 연료의 연소로 인한 열에너지를 난방수에 공급하는 난방수열교환부(130)와 상기 난방수열교환부(130)에 난방수에 열에너지를 공급한 후 유출부(150)를 통해 상기 폐열회수부(200)에 유출되는 배기가 일정한 범위의 온도를 가지도록 상기 응축수부(300)를 통해 상기 배기에 수분을 공급하는 제1수분분사부(140)와 일정한 범위의 온도를 가진 상기 배기와 상기 응축수(10)를 폐열회수부(200)와 응축수부(300)에 유출하는 유출부(150)로 이루어진다.

- [0035] 아울러, 상기 난방수열교환부(130)의 바람직한 실시 예는 상기 난방수가 이동하며 상기 버너부(110)에 의한 열 에너지를 공급받게 된다.
- [0036] 좀 더 상세하게는 상기 연소에 의한 열에너지를 복사형태 또는 연소 배기의 대류형태로 공급받게 된다. 이때, 난방수가 열에너지를 효율적으로 받기 위해 지그재그 형태의 파이프 내부를 이동할 수 있다.
- [0037] 일반적으로 열에너지의 이동은 온도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동한다.
- [0039] 또한 이때, 도 1에 도시한 바와 같이, 상기 연소공급부(120)는 상기 일정한 습도의 공기를 상기 버너부(110)에 공급하는 공기공급부(121)와 상기 연료를 상기 버너부(110)에 공급하는 연료공급부(122)로 이루어진다.
- [0040] 또한 이때, 도 1에 도시한 바와 같이, 상기 공기공급부(121)는 상기 일정한 습도의 공기를 상기 버너부(110)에 공급하기 위해 상기 공기의 습도를 감지하여 감지된 결과를 상기 제어부(400)에 전송하는 습도센서(121a)로 이루어진다.
- [0041] 또한 이때, 도 1에 도시한 바와 같이, 상기 유출부(150)는 일정한 범위의 온도를 가진 상기 배기를 상기 폐열회수부(200)에 유출하기 위해 상기 폐열회수부(200)에 유출되는 상기 배기의 온도를 감지하여 감지된 결과를 상기 제어부(400)에 전송하는 온도센서(151)로 이루어진다.
- [0043] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 폐열회수부(200)와 응축수부(300)의 예시도이다.
- [0044] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 폐열회수부(200)와 응축수부(300)의 예시도이다.
- [0046] 이때, 도 1 내지 3에 도시한 바와 같이, 상기 폐열회수부(200)는 상기 연소부(100)로부터 유출된 배기를 외부로 배출하는 배기부(210)와 외기를 유입시켜 상기 배기의 열에너지를 상기 외기에 공급하고 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하는 외기열교환부(220)와 상기 외기열교환부(220)가 일정한 습도의 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 공기로 공급하기 위해 상기 응축수부(300)에 고인 응축수를 상기 외기에 수분으로 공급하는 제2수분분사부(230)로 이루어진다.
- [0047] 아울러, 상기 외기열교환부(220)가 상기 배기의 열에너지를 외기에 공급하는 바람직한 실시 예는 상기 배기와 상기 외기를 격리된 교차로 형태로 이동하게 시켜 상기 배기와 상기 외기가 혼합되지 않으면서 상기 배기의 열에너지가 상기 외기에 공급될 수 있도록 하는 것이다.
- [0049] 또한 이때, 도 1 내지 3에 도시한 바와 같이, 상기 외기열교환부(220)는 외부의 공기인 외기에 유입되는 외기유입부(221)와 상기 외기유입부(221)를 통해 유입된 상기 외기가 외기통로부(223)를 통과하는 동안 배기통로부(224)를 통과하는 상기 배기로부터 열에너지를 공급받고 상기 제2수분분사부(230)를 통해 수분을 공급 받아 상기 외기를 상기 연소부(100)에서 연소될 일정한 습도의 공기로 사용하기 위해 상기 연소부(100)에 유출하는 외기유출부(222)와 상기 외기유입부(221)를 통해 유입된 상기 외기가 상기 외기유출부(222)를 향하여 통과하는 동안 배기통로부(224)를 통과하는 상기 배기로부터 열에너지를 공급받고 상기 제2수분분사부(230)를 통해 수분을 공급 받아 상기 외기가 상기 외기유출부(222)를 향하여 통과하도록 하는 외기통로부(223)와 상기 연소부(100)에서 유출된 배기가 상기 배기부(210)를 향하여 통과하는 동안 상기 외기통로부(223)를 통과하는 상기 외기에 열에너지를 공급하는 상기 배기가 상기 배기부(210)를 향하여 통과하도록 하는 배기통로부(224)와 상기 외기통로부(223)에서 발생한 응축수(10)를 상기 응축수부(300)로 유출하는 응축수유출부(225)로 이루어진다.
- [0050] 아울러, 상기 응축수유출부(225)는 상기 외기통로부(223)에서 상기 제2수분분사부(230)를 통해 공급되는 수분 중 외기로 기화되지 못하고 액체상태의 수분을 상기 응축수부(300)로 유출될 수 있도록 한 것이다.
- [0051] 또한 아울러, 상기 배기통로부(224)에도 배기의 열에너지가 외기로 전달되기 때문에 응축수(10)가 발생할 수 있는 데, 이러한 경우 응축수(10)를 배기통로부(224) 아래에 배치되어 있는 상기 응축수부(300)로 바로 유출된다.

- [0053] 또한 이때, 도 1 내지 3에 도시한 바와 같이, 상기 응축수부(300)는 상기 연소부(100)로부터 유출된 상기 응축수(10)를 유입시키는 유입부(310)와 상기 유입부(310)로부터 유입된 상기 응축수(10)와 응축수유출부(225)로부터 유입된 응축수(10)를 저장하는 응축수저장부(320)와 상기 응축수저장부(320)에 저장된 응축수(10)가 특정 한도 이상인 경우 특정 한도 이상의 응축수(10)를 유출시키는 응축수유출부(330)와 상기 응축수저장부(320)에 저장된 상기 응축수(10)를 제1수분분사부(140)로 밀어 올리는 제1수분펌프부(340)와 상기 응축수저장부(320)에 저장된 상기 응축수(10)를 제2수분분사부(230)로 밀어 올리는 제2수분펌프부(350)로 이루어진다.
- [0054] 아울러, 상기 응축수유출부(330)의 바람직한 실시 예는 화장실의 좌변기에 물이 고이게 하는 구성과 유사하게 높은 S자 형태의 관으로 구성하여 특정 한도 이상으로 응축수가 저장되게 되면 특정 한도 이상의 응축수를 유출시키는 것이다.
- [0055] 이는 응축수저장부(320)의 응축수(10)가 계속 쌓이게 되어 상기 유입부(310)로 역류하지 않도록 하기 위함이다.
- [0057] 본 발명의 효율은 아래와 같은 연구 결과 고효율로 작동한다.
- [0058] 도 4에서 HEX는 열 교환기를 나타내며 HW는 난방수를 나타낸다. 또 T는 온도를 나타내며, 하첨자는 다양한 위치 및 물질의 종류를 구별하기 위한 것으로 다음의 약어를 사용하였다. B = 보일러 본체(본 발명에서 연소부(100)에 해당), X = 폐열회수 열교환기(본 발명에서 폐열회수부(200)에 해당), R = 응축수 저장소(본 발명에서 응축수부(300)에 해당), A = 공기, G = 배기가스, i = 입구, o = 출구를 나타낸다. 이와 같은 위치 및 물질의 종류를 구별하는 하첨자는 다른 열물성치에도 동일하게 적용하였다.
- [0059] 운전 조건에 따라 다음의 3 가지 유형으로 분류하여 열역학적 해석을 수행하였다. 첫째, 기본형 보일러(이하, “Basic-보일러”)는 도 4에서 SUB2 및 SUB3가 없는 일반 가정용 또는 산업용 보일러로서, 본체 출구온도에 따라 응축형 및 비응축형 보일러를 구분된다. 이 Basic-보일러에는 폐열 회수기가 없기 때문에 열교환기 입구 및 보일러 입구는 동일하며($X_i = B_i$), 본체 출구 및 열교환기 출구는 동일하다($B_o = X_o$)고 가정하면 된다. 둘째로, SUB3가 없는 일반적인 폐열회수형 보일러(이하 “WHR-보일러”)이다. 마지막 유형은, 도 4와 동일한 물분사 폐열회수형 보일러(이하, “WSWHR-보일러”)이다. 도 4가 본 발명인 추가적으로 물을 분사하는 폐열회수 보일러에 해당한다.
- [0060] 1. 전체 시스템에서의 총괄 반응식
- [0061] 본 연구에서는 메탄 1 kmol의 연소과정을 상정하여 이에 대한 총괄반응식을 대상으로 열역학적 해석을 수행하였다.
- [0062] WSWHR-보일러에 대한 총괄반응은 식 (3-1-1)로 나타낼 있으며, 연소조건은 식 중의 연료 온도(T_F), 공기의 온도 및 상대습도(T_{AXi} , γ_{AXi}), 공기비(α), 물분사 물수(n_{Wad})등을 이용하여 조정할 수 있다.
- $$\begin{aligned} &CH_4(T_F) + 2\alpha(O_2 + 3.76N_2)(T_{AXi}) \\ &+ \gamma_{AXi}n_{Vs-AXi}H_2O_V(T_{AXi}) + \{n_{Wad}H_2O_W(T_R)\} \\ &\Rightarrow \{CO_2 + 2(\alpha - 1)O_2 + 7.52\alpha N_2\}(T_{GXo}) + n_{V-GXo}H_2O(T_{GXo}) \\ &+ n_{Wcd-Ro}H_2O_W(T_{Ro}) + \{n_{Wad}H_2O_W(T_R)\} \end{aligned} \quad (3-1-1)$$
- [0063]
- [0064]
- [0065] 여기서, 물수 n의 하첨자의 의미는 다음과 같다. V = 증기(vapor), W = 물(liquid water), s = 포화(saturated), cd = 응축(condensed), ad = 첨가(added).
- [0066] 위 반응식의 반응물에는 포함되는 물 물수는 두 가지 유형, 즉 습공기에 포함된 물수($\gamma_{AXi}n_{sV-AXi}$) 및 추가 분사 물 물수(n_{Wad})가 있다. 한편, 생성물에 세 가지 유형 즉, 배출가스 중의 수증기 물수(n_{V-GXo}), 저장

소에서 외부로 배출되는 응축수 몰수(n_{Wcd-Ro}) 및 재순환시키는 물 몰수(n_{Wad})가 있다.

위 식에서 배출가스 중의 수증기 몰수(n_{Vs-GXo})는 배출가스의 온도가 높아 응축이 안 일어나는 경우에 해당하는 생성물 중의 총 물 몰수(n_{W-G})와 배출온도의 포화 몰수(n_{Vs-GXo}) 중에 작은 것에 해당한다. 생성물에 포함된 총 몰수는 식(3-1-3)과 같이 구해진다.

$$n_{V-GXo} = \text{Min}\{n_{Vs-GXo}, n_{W-G}\} \quad (3-1-2)$$

$$n_{W-G} = 2 + \gamma_{AXi} n_{Vs-AXi} + n_{Wad} \quad (3-1-2)$$

또, 위 총괄반응식의 양측에 포함된(n_{Wad})로 나타낸 물은 연소용 공기에 추가로 분사되는 물의 몰수를 나타내며, 최종 배출가스 온도가 약 60° C이하에서는 보일러 내부를 통해 재순환된다. 따라서 이 항은 열효율에 직접적인 영향을 주지는 않지만 중요한 제어 매개 변수이므로 총괄반응식에서 다른 물의 몰수와 분리하여 기술하였다.

2. 유로중 수증기 및 응축수의 몰수 계산 방법

위 총괄 반응식에는 여러 가지 수증기 및 응축수 몰수들을 포함하고 있으며, 이 몰수들은 보일러의 운전조건 및 위치에 변화한다. 위 반응식 외에도 보일러 성능해석에는 필요한 몰수들을 구하는 방법에 대하여 수증기 및 물 몰수 순으로 아래에 기술하였다.

(1) 수증기의 몰수 계산법

먼저 연소용 공기 또는 배기가스의 포화 증기의 몰수(각각 n_{Vs} 와 n_D)를 규명하는 방정식을 설명한다. 온도에 따른 포화 증기압은 도 5와 같은 습공기표 자료를 이용하여 식 (3-2-1)로 근사하여 사용하였으며, 이 포화 증기압은 각각에 포함된 수증기(n_{Vs}) 및 건가스(n_D) 몰수를 이용하면 식(3-2-2)와 같이 정의된다. 이 두식을 이용하면 공기 및 배기가스의 포화 수증기 몰수는 각각 식 (3-2-3), (3-2-4)와 같이 온도의함수로 구해진다. 여기서, n_{DA} 및 n_{DG} 는 각각 공기 및 배기가스 중의 건 가스 몰수를 나타내며, P_a 는 대기압 P_p 는 배기 파이프의 압력을 나타낸다.

$$P_{Vs}(T) = 0.00611 \times 10.0^{\frac{7.5 \times T}{237.7 + T}} [\text{bar}] \quad (3-2-1)$$

$$P_{Vs}(T) = \frac{n_{Vs}(T)}{\{n_D + n_{Vs}(T)\}} \quad (3-2-2)$$

$$n_{Vs-A} = P_{Vs}(T_A) \times \frac{n_{DA}}{P_a - P_{Vs}(T_A)} \quad (3-2-3)$$

$$n_{Vs-G} = P_{Vs}(T_G) \times \frac{n_{DG}}{P_a - P_{Vs}(T_G)} \quad (3-2-4)$$

where

$$n_{DA} = 9.52\alpha \quad \text{and} \quad n_{DG} = 9.52\alpha - 1$$

[0081] 본 연구에서는 유입 공기에 분사되는 물의 양은 소음을 발생하지 않도록 단일화염온도가 약 1900° C에 해당하는 최대 습도(ω_{Max}) 0.2[kg water / kg air]로 제한하였다. 그러나, 본 열역학적 해석에는 메탄(CH₄) 1 kmol의 연소 과정에 대한 총괄 반응식을 사용하기 때문에 물의 양도 위 반응식에 참여하는 물 몰수로 표현해야 한다. 습도를 몰수와 분자량을 이용하면 식 (3-2-5)와 같이 나타낼 수 있고, 따라서 습도 (ω)에 따른 물 몰수는 식 (3-2-6)과 같이 나타 낼 수 있다. 이 식을 이용하면, 본 연구에서 제한한 최대습도 0.2는 최대 물 몰수 ($n_{Wad-max}$)는 3.05 kmol에 해당함을 알 수 있다.

[0082]
$$\omega = \frac{m_{H_2O}}{m_{DA}} = \frac{n_V \cdot M_{H_2O}}{2\alpha[M_{O_2} + (3.76 \cdot M_{N_2})]} \quad (3-2-5)$$

[0083]
$$n_{Wad} = \frac{m_{DA}}{m_{H_2O}} = \frac{2\alpha[M_{O_2} + (3.76 \cdot M_{N_2})]}{M_{H_2O}} \cdot \omega \quad (3-2-6)$$

[0084] (2) 응축수의 몰수 계산법

[0085] 본 해석에 필요한 각종 물 몰수의 계산법은 도 6의 응축수 수조를 검사체적으로 질량 평형식을 적용하여 구해진다. 본 그림은 도 4의 Sub3 부분을 상세히 도시한 것으로, 보일러 배출구 (n_{Wcd-B})와 열회수기(n_{Wcd-X})에서 물이 유입되고, 열교환기(n_{Wad-X}) 혹은 연소실(n_{Wad-B})로 분사 된다. 그리고 분사량이 유입되는 응축수보다 작은 경우에는 응축수 일부(n_{Wcd-Ro})는 저장소 출구를 통해 외부로 배출된다.

[0086] 첫째로, 예열 공기에서 증발시키면서 공급할 수 있는 물의 몰수(n_{Wad-X})는 식(3-2-7)로 구해지며, 이 식에는 유입 공기($\gamma_{AXi} n_{Vs-AXi}$)에 포함 된 물 몰수는 제외된다. 그러나 분사 최대 몰수가 화염의 안정성을 고려하여 $n_{Wad-Max}$ 로 제한되어 있기 때문에, 실제 분사 몰수(n_{Wad})는 이들 중에서 작은 값을 선택해야 하며 식 (3-2-8)으로 구할 수 있다. 또한 예열 공기의 온도가 낮으면, 연소실의 반응 구역에 직접 물을 분사 할 수도 있으며, 이 경우 분사 할 수 있는 물의 최대 몰수는 식 (3-2-9)에 의해 결정된다.

[0087]
$$n_{Wad-X} = (\gamma_{AXo} n_{Vs-AXo} - \gamma_{AXi} n_{Vs-AXi}) \quad (3-2-7)$$

[0088]
$$n_{Wad} = \text{Min}[n_{Wad-X}, n_{Wad-Max}] \quad (3-2-8)$$

[0089]
$$n_{Wad-BMax} = n_{Wad-Max} - (\gamma_{AXo} n_{Vs-AXo} - \gamma_{AXi} n_{Vs-AXi}) \quad (3-2-9)$$

[0090] 총괄반응식에 나오는 응축수 배출몰수(n_{Wcd-Ro})는 위 검사체적의 질량 보존식에 의해 식(3-2-10)과 같이 구해진다. 여기서, 보일러 출구의 응축수 (n_{Wcd-B}) 및 폐열회수기에서의 응축수 (n_{Wcd-X})는 각각 식 (3-2-11), (3-2-12)와 같이 구해진다.

[0091]
$$n_{Wcd-Ro} = n_{Wcd-B} + n_{Wcd-X} - n_{Wad} \quad (3-2-10)$$

$$n_{Wcd-B} = n_{W-G} - n_{V-GXi} \quad (3-2-11)$$

$$n_{Wcd-X} = n_{V-GXi} - n_{V-GXo} \quad (3-2-12)$$

(3) 응축수 온도 계산법

WSWHR-보일러에서 응축수는 생성 위치여부에 따라 온도가 다르다. 이들 온도의 하첨자에 사용된 B, X 및 R은 위치를 나타내는 것으로 각각 연소실출구, 열교환기, 응축수조를 나타낸다. 보일러 출구 응축수 온도(T_B)는 배기가스의 이슬점 온도(T_{D-G})가 보일러 출구 온도(T_{GBo})보다 높은 경우에만 구할 필요가 있으며, 그 값은 식(3-2-13)과 같이 위 두 온도의 평균으로 구해진다. 이 식에서 T_{D-G} 식 (3-2-1)에 제시한 온도에 따른 포화 증기압곡선의 역함수로 식 (3-2-14)와 같이 구해진다.

$$T_B = \frac{T_{D-G} + T_{GBo}}{2} \quad (3-2-13)$$

$$T_D(P_{Vs}) = \frac{526.258 + 237.7 \cdot (\log P_{Vs})}{5.286 - \log P_{Vs}} \quad [^{\circ}C] \quad (3-2-14)$$

열회수기에서 발생하는 응축수의 온도(T_X)는 응축 시작 및 끝나는 온도의 평균으로 나타내었다. 응축 시작 온도는 이슬점 온도(T_{D-G})가 열교환기입구 온도($T_{GXl} = T_{GBo}$)보다 높은 경우에는 응축 개시 온도는 열교환기 입구 온도가 되며, 반대의 경우에는 응축개시 온도는 배기가스 이슬점 온도(T_{D-G})가 된다. 이 관계로부터 T_X 는 식 (3-2-15)와 같이 구해진다.

$$T_X = \text{Min} \left[\frac{T_{GBo} + T_{GXo}}{2}, \frac{T_{D-G} + T_{GXo}}{2} \right] \quad (3-2-15)$$

또한, 수조에 채류하는 응축수 온도(T_R)는 다음의 에너지 보존식(3-2-16)을 이용하여 구할 수 있다. 그리고, 강제 순환하는 응축수의 온도도 이와 동일하다.

$$n_{Wcd-B} \cdot h(T_B) + n_{Wcd-X} \cdot h(T_X) = \{n_{Wcd-B} + n_{Wcd-X}\} \cdot h(T_R) \quad (3-2-16)$$

3. 폐열회수열량 계산방법

본 연구에서 새롭게 제안하는 WSWHR-보일러를 대상으로 열역학적 성능해석을 하려면, 도 4의 폐열회수 시스템(SUB2)에서의 물질 및 열 평형 분석을 통해 운전조건에 따른 회수 열량 및 이에 따른 감소된 배출열량 등을 구해야 한다. 본 열해석에서는 우선 보일러 출구온도(T_{GBo}) 및 공기 유입온도(T_{AXl})를 가정하였다. 그리고

폐열회수기의 성능은 (3-3-1)로 정의한 성능계수(β)를 이용하여 변화시켰다. 이 성능계수는 예열 정도($T_{ABi} - T_{AXl}$)를 대향류 열교환기 최대 온도 차($T_{GBo} - T_{AXl}$)로 무차원한 것이다. 성능계수는

$0 \leq \beta \leq 1$ 까지 변화시키며 성능해석을 수행하였고, 대표치로는 0.9로 가정하였다. 이 성능계수를 가정하면

보일러입구 예열공기온도(T_{ABi})가 정해진다.

$$\beta = \frac{T_{ABi} - T_{AXi}}{T_{GBo} - T_{AXi}} \quad (0 \leq \beta \leq 1) \quad (3-3-1)$$

폐열회수기 공기 측의 물질변화는 식 (3-3-2)와 같이 나타낼 수 있으며, 이 식 바탕으로 한 공기 예열에 사용한 열량은 식 (3-3-3) 과 같이 나타낼 수 있다. 이 식을 보면 공기예열에는 습공기의 온도 상승에 관련한 현열이외에도 분사된 물(n_{wad})을 증발에 필요한 잠열도 포함하고 있다.

$$2\alpha(O_2 + 3.76N_2)(T_{AXi}) + \gamma_{AXi} n_{Vs-AXi} H_2O_V(T_{AXi}) + n_{Wad} H_2O_W(T_R)$$

$$\Rightarrow 2\alpha(O_2 + 3.76N_2)(T_{AXo}) + \gamma_{AXo} n_{Vs-AXo} H_2O_V(T_{AXo}) \quad (3-3-2)$$

$$Q_{PH} = \{ 2\alpha(h_{O_2} + 3.76h_{N_2})(T_{AXo}) + \gamma_{AXo} n_{Vs-AXo} h_V(T_{AXo}) \} \\ - \{ 2\alpha(h_{O_2} + 3.76h_{N_2})(T_{AXi}) + \gamma_{AXi} n_{Vs-AXi} h_V(T_{AXi}) + n_{Wad} h_W(T_R) \} \quad (3-3-3)$$

한편 배기가스 측의 물질변화는 식 (3-3-4)과 같이 나타낼 수 있으며, 이 식 바탕으로 한 폐열회수 열량은 식 (3-3-5) 과 같이 나타낼 수 있다. 이 식에서 H_{DG} 는 물을 제외한 배기가스의 혼합 엔탈피를 나타내며, n_{v-GXi} 는 배기가스가 갖는 수증기 몰수로 식(3-3-7)와 같이 구해진다. 그리고, 이 과정에서 응축되는 몰수는 식(3-3-8)와 같이 구해진다.

$$\{CO_2 + 2(\alpha - 1)O_2 + 7.52\alpha N_2\}(T_{GXi}) + n_{v-GXi} H_2O_V(T_{GXi}) \quad (3-3-4)$$

$$\Rightarrow \{CO_2 + 2(\alpha - 1)O_2 + 7.52\alpha N_2\}(T_{GXo}) \\ + n_{v-GXo} H_2O_V(T_{GXo}) + n_{Wcd-X} H_2O_W(T_X)$$

$$Q_{RE} = [H_{DG}(T_{GXi}) + n_{v-GXi} h_V(T_{GXi})] \\ - [H_{DG}(T_{GXo}) + n_{v-GXo} h_V(T_{GXo}) + n_{Wcd-X} h_W(T_X)] \quad (3-3-5)$$

$$H_{DG} = h_{CO_2} + 2(\alpha - 1)h_{O_2} + 7.52\alpha h_{N_2} \quad (3-3-6)$$

$$n_{v-GXi} = \text{Min}\{n_{vs-GXi}, n_{w-G}\} \quad (3-3-7)$$

$$n_{Wcd-X} = n_{v-GXi} - n_{v-GXc} \quad (3-3-8)$$

최종적으로, 배기가스 출구온도(T_{GXo})는 위 공기예열 열량(Q_{PE})과 폐열회수한 열량(Q_{RE})이 같다는 에너지 보존식(3-3-9)을 만족하는 온도를 반복 계산법에 의해 구한다.

$$Q_{PE} = Q_{RE} \quad (3-3-9)$$

4. 열효율 계산방법

본 계산에서는 CH_4 연료 1 kmol 연소하는 보일러를 대상으로 하고 있다. 따라서 모든 보일러의 열효율은 식

(3-4-1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, Q_{in} 은 공급 열량으로 온도 0℃ CH₄ 1 kmol의 발열량과 같다. 도 4에 도시한 물순환 보일러를 대상으로 위 열효율식을 구체적으로 기술하면 식 (3-4-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (3-4-1)$$

$$\eta = 1 - \frac{[H_{DG}]_{T_{0^{\circ}C}}^{T_{GXo}} + [n_{V-GXo} h_V]_{T_{0^{\circ}C}}^{T_{GXo}} + [n_{Wcd-Ro} h_W]_{T_{0^{\circ}C}}^{T_{Ro}}}{Q_{in}} \quad (3-4-2)$$

이 효율식은 WSWHR-보일러를 대상으로 일반적으로 기술한 식이지만, 각각의 운전조건이 주어지면 본 연구에서 고려하는 모든 유형의 보일러의 열효율을 계산 할 수 있다. 즉, WHR-보일러의 효율 식은 위와 동일하나, 물분사 물수(n_{Wad})을 0이기 때문에 효율식의 물 물수가 달라진다. 그리고, 기본 보일러의 경우는 폐열회 시스템이 없기 때문에, 위 효율식에 나오는 변수를 다음과 같이 변한다. 즉, $T_{ABi} = T_{AXi}$, $T_{GBo} = T_{GXo}$ 및 $n_{Wad} = 0$ 으로 바뀌며, 또 저장소 응축수(n_{Wcd-Ro}) 배출물수가 보일러 출구의 응축수 배출 물수(n_{Wcd-B})로 바뀐다. 이와 같은 가정을 적용하면 위 효율식은 (3-4-3)으로 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = 1 - \frac{[H_{DG}]_{T_{0^{\circ}C}}^{T_{GBo}} + [n_{V-GBo} h_V]_{T_{0^{\circ}C}}^{T_{GBo}} + [n_{Wcd-B} h_W]_{T_{0^{\circ}C}}^{T_B}}{Q_{in}} \quad (3-4-3)$$

5. 계산 조건

본 논문에서는 우선 추가적인 물분사는 예열공기에만 시행하고 연소실 내부로는 분사하지 않는다고 가정하였다. 이와 같은 가정에서 3가지 유형의 연구 대상 보일러의 운전 변수는 다음과 같다. 즉, 보일러 출구온도(T_{GBo}), 공기율(α), 유입공기 온도-습도(T_{AXi} , γ_{AXi}), 폐열회수 성능지수(β) 및 예열공기 습도(θ) 등이 있다. 본 논문에서는 다음과 같은 조건에 한정하여 열역학적 해석법의 타당성을 검증하였다. 공기 비율은 1로 고정하였으며, 유입 공기의 온도와 상대 습도는 각각 0 ℃와 0 %로 하였다. 연소실 출구의 배출가스 온도는 40~90° C 범위에서 변화시키면서 폐열회수 성능지수는 0.9, 예열공기 상대습도는 90%로 고정하였다. 물분사시 예열공기의 최대 습도는 화염안정성을 고려하여 0.2[kg water/kg air]로 하였다.

6. 계산결과

도 7은 세 종류의 보일러에 대한 효율(실선) 계산결과를 본체 배출온도(T_{GBo}) 및 예열공기 출구온도(T_{AXo})의 함수로 나타낸 것이다. 그림의 x축에는 본체 배출온도(T_{GBo})가 제시되어 있으며, 열교환기 성능지수 $\beta=0.9$ 인 경우의 예열공기 온도(T_{AXo})를 괄호 내에 나타내었다. 참고로, 보일러의 최종 배출온도(T_{GXo})도 오른쪽에 도시하였다(점선). 단, Basic-보일러는 본체 배출온도가 최종 배출온도에 해당한다.

먼저, 폐열회수 시스템이 없는 Basic-보일러의 경우 열효율은 T_{GBo} 를 감소시키면 서서히 증가하며, 특히 배기 가스 응축이 시작되는 58° C이하에서는 매우 급격하게 상승한다. 이것은 보일러 출구 온도가 이슬점 온도 보다 낮아지면 보일러 내부에서는 응축 열교환이 일어나기 때문이다. 이 경향은 기존의 연구결과와 매우 잘 일치한다. 다음에, 폐열 회수시스템만 갖춘 WHR-보일러의 경우에는 보일러 출구온도(T_{GBo})에 따른 효율변화 경향은 앞의 Basic-보일러와 유사하며, 폐열을 회수함에도 불구하고 효율상승은 Basic-보일러보다 전범위에서 약 1~2% 정도만 상승함을 알 수 있다. 이와 같이 폐열을 회수함에도 불구하고 열효율 상승에 한계가 있는 이유

에 대해서는 나중에 상세히 설명하겠다. 마지막으로, WSWHR-보일러의 열효율은 배출가스 온도가 74° C보다 높은 범위에서는 WHR-보일러와 유사하나 T_{GB0} 가 74° C보다 낮아지면서 효율이 급격히 상승하기 시작한다. 위 임계 온도는 화염의 안정성을 고려하여 최대 습도를 0.2로 한정된 경우의 배기가스 이슬점 온도에 해당한다. 이 보일러의 효율은 T_{GB0} 가 50~70 ° C범위에서 다른 두 보일러보다 상당히 높아짐을 알 수 있다. 특히, T_{GB0} 60° C 근처에서 효율 차이가 가장 커지며, 그 차이는 Basic-보일러, WHR-보일러에 비해 각각 9%, 7%까지도 상승함을 알 수 있다. 이와 같은 물분사에 따른 효율 증가 현상에 대해서는 다음에 상세히 설명하고자 한다. 위 결과로부터, WSWHR-보일러는 추가적인 물분사로 인해 배기가스의 이슬점 온도를 비교적 높은 온도에서도 응축열교환을 가능하게 하면서 기존의 WHR-보일러보다 더 효율이 높다는 장점을 가짐을 알 수 있다.

[0129] 도 8 내지 9는 본체 출구온도에 따른 폐열 회수기에서의 폐열 및 회수 열량의 변화를 도시한 것으로, 앞서 언급한 WHR, WSWHR-보일러의 효율변화 원인을 검토하기 위한 것이다. 계산조건은 열교환기 성능계수(β)를 모두 0.9로 가정하였으며, 물분사량은 WHR-보일러(도 8)는 없으며 WSWHR-보일러(도 9)는 예열공기 상대습도 γ =90%로 가정하였다. 총열량 중 수증기의 상태변화와 관련된 습열량(Q_{v-GXi} , Q_{v-GXi} , ?)은 점선으로 건열량과 구분하여 표시하였다.

[0130] 우선, 도 8의 WHR-보일러에서는 추가적인 물분사가 없기 때문에 배기가스 이슬점 온도는 약 58° C이다. 본체 출구 온도가 이슬점 온도까지는 출구 온도증가에 따라 폐열회수기로 유입하는 수증기 물수(n_{v-GXi})가 증가하나, 이 이후로는 연소 생성물의 최대치인 2몰로 일정하다. 따라서 폐열량(Q_{RE})도 온도 58° C까지는 급격히 증가하나 그 이후에서는 현열만 증가하기 때문에 증가율은 미소하다. 한편, 폐열회수는 건공기만을 이용한 현열에만 의존하기 때문에 온도(T_{AX0})가 증가하여도 회수량 자체도 매우 적고 증가율 또한 크지 않음을 알 수 있다. 이들 폐열 회수기에서의 열 및 물질수지로부터 WHR-보일러는 폐열을 회수함에도 불구하고 폐열 회수량에는 한계가 존재하며, 따라서 효율 상승도 도 7에서 언급한 바와 같이 Basic-보일러보다 약 1~2% 정도만 상승함을 잘 설명할 수 있다.

[0131] 다음, 도 9에는 WSWHR-보일러에서의 계산결과로, 계산조건은 최대 분사 물수로 제한한 3.05 이내에서 예열공기에 상대습도 γ 에 해당하고, 온도는 물을 추가적으로 분사한 경우이다. 본체출구 증가에 따라 배기가스 중의 최대 물 물수는 5.05까지 증가하며 그 이후는 일정해진다. 이 최대 물 물수 조건에서의 이슬점 온도는 74° C이다. 따라서 폐열량(Q_{RE})도 앞서와 유사하게 74° C까지는 급격히 증가함을 알 수 있으며, 그 이후로는 현열만 증가하기 때문에 증가율은 미소하다. 한편, 회수열량을 살펴보면 이 경우에는 예열공기에 분사하는 물의 증발잠열도 포함하기 때문에 WHR-보일러의 회수열량에 비해 월등히 많아짐을 알 수 있다. 특히, 습열량인 Q_{v-GXi} 의 변화경향을 보면 대부분의 회수열량은 습열량에 의해 얻어짐을 알 수 있다. 이들 결과로부터, WSWHR-보일러는 추가적인 물분사로 인해 배기가스의 이슬점 온도를 높여 비교적 높은 온도에서도 응축열교환을 가능하게 하면서 기존의 WHR-보일러보다 효율을 더 많이 상승시키는 이유를 합리적으로 설명할 수 있다.

[0132] 도 10은 본체 출구온도(T_{GB0}) 증가에 따른 WSWHR-보일러의 수증기 물질수지를 나타낸 것이다. 그림에서 n_{w0d-X} 는 폐열 회수기에서 생성되는 응축수 물수, n_{w0d-X} 는 예열 공기에 분사하는 물 물수, n_{w0d-B} 는 본체 내에서 응축되는 물수, n_{w0d-R} 은 열교환기 및 본체에서 생성되는 응축수를 합한 총 물수를 나타낸다.

[0133] 위 계산 결과를 보면, 본체 출구 온도에 따른 위 물수들의 변화 경향을 잘 예측하고 있는 것으로 판단된다. 상세히 살펴보면, T_{AX0} 가 증가함에 따라 본체에서 생성되는 응축수는 점점 감소하여 최대 물분사 조건의 배기가스 이슬점 온도에 해당하는 74° C 이상에서는 발생량이 0으로 된다. 한편, 폐열 회수기에서 생성되는 응축수 물

수 및 예열 공기에 분사하는 물수는 증가함을 알 수 있다. 그리고 본 조건에서 폐열 회수시스템에서 예열공기에 분사하는 물수는 생성되는 물수 보다 항상 적어서 생성된 응축수를 이용해도 필요한 분사 물수를 확보 할 수 있다. 단, 본 논문에서 제시하지 않았지만 운전조건에 따라서는 폐열 회수기에서 생성된 물수가 분사에 필요한 물수 보다 적은 경우도 있어서, 폐열 회수기에서 생성되는 물만을 순환하는 보일러에서는 운전 범위에 제약이 있음을 알았다. 그러나 본 WSWHR-보일러에서는 분사에 사용되는 응축수는 폐열 회수기 및 본체에서 생성되는 총 응축수를 사용하기 때문에 위와 같이 운전에 제약을 받는 경우가 없다. 또 공기예열 온도가 낮은 경우에는 폐열 회수기에서 생성되는 물 물수가 소량이기 때문에 이 물을 전부 이용하여 예열공기에 공급하여도 화염온도 저하에는 별 영향을 미치지 못한다. 이 경우 물분사에 의한 NOx 저감효과는 거의 없다. 또 본 WSWHR-보일러에서는 최종 배출되는 수증기 물수는 온도가 증가함에 따라 점점 증가하여 거의 2몰에 도달하는데, 본 계산조건 내에서는 2 몰을 초과하지 않기 때문에 외부의 물을 보충하지 않아도 됨을 알 수 있다. 따라서 본 WSWHR-보일러는 물공급 측면에서 외부적으로 물공급이 없어도 사용 가능함을 알 수 있다.

7. 결론

본 연구는 새롭게 제안한 물분사 폐열회수(WSWHR) 보일러는 본체 및 폐열 회수기에서 응축된 물을 유입공기 혹은 연소실내로 분사하여 열회수량을 증대시켜 효율을 개선함과 동시에 화염온도도 낮추어 NOx 배출농도를 감소시킬 목적으로 고안된 것이다. 본 연구는 WSWHR-보일러를 대상으로 유도한 열역학적 해석방법의 타당성을 검증한 것이다. 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 정립한 열역학적 해석법은 운전조건에 따른 응축수 생성, 폐열 회수량 및 열효율 등의 거동을 합리적으로 예측하며, 정량적으로도 신뢰성이 높을 것으로 예상된다.
- 2) 예열공기에 적절한 물분사는 배기가스 응축 열교환 영역을 높게 하며, 본체 출구 온도를 50~70 ° C 영역에서 운전하면 약 94 ~ 97 %의 효율을 달성할 수 있음을 확인하였다.
- 3) WSWHR-보일러의 효율은 Basic-보일러 및 WHR-보일러에 보다 각각 약 9 %, 7 % 증가시킬수 있음을 알았다.
- 4) WSWHR-보일러에서는 폐열 회수기 및 본체에서 생성되는 모든 응축수를 물분사에 사용할 수 있기 때문에 기존 물순환 폐열 회수 보일러보다 자유롭게 제어 할 수 있음을 확인하였다.

이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주하여야 할 것이다.

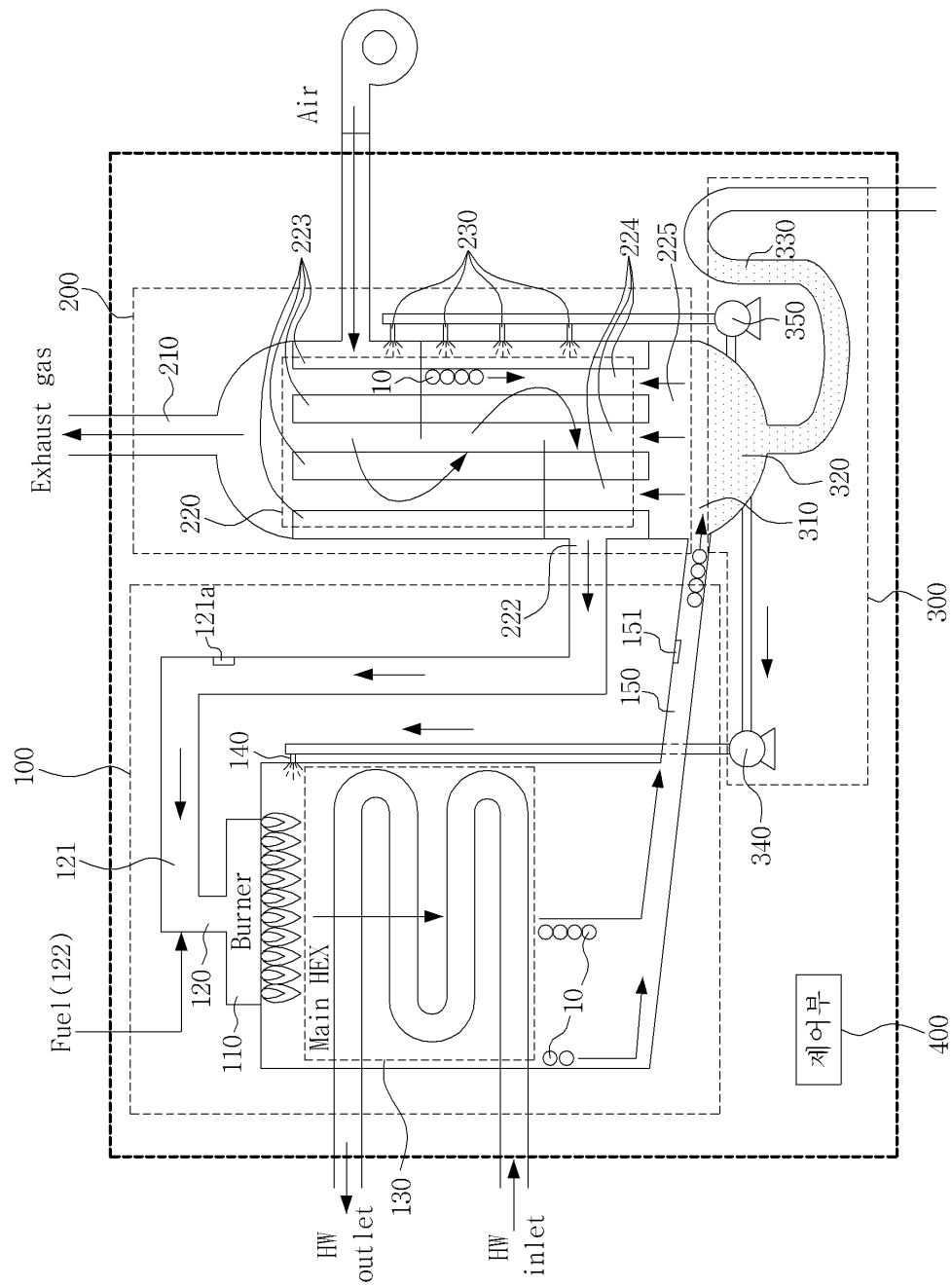
부호의 설명

- 10: 응축수
- 100: 연소부
- 110: 버너부
- 120: 연소공급부
- 121: 공기공급부
- 121a: 습도센서
- 122: 연료공급부
- 130: 난방수열교환부
- 140: 제1수분분사부
- 150: 유출부
- 151: 온도센서
- 200: 폐열회수부

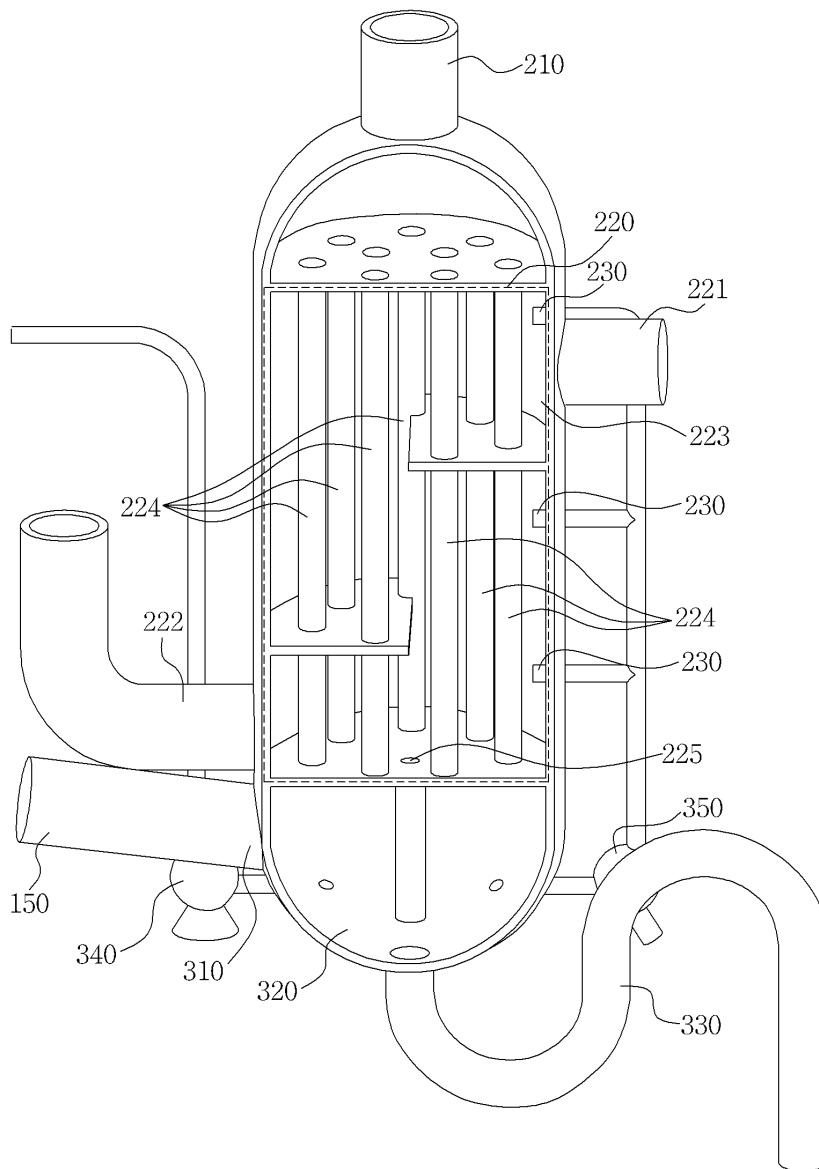
210: 배기부
220: 외기열교환부
221: 외기유입부
222: 외기유출부
223: 외기통로부
224: 배기통로부
225: 응축수유출부
230: 제2수분분사부
300: 응축수부
310: 유입부
320: 응축수저장부
330: 응축수유출부
340: 제1수분펌프부
350: 제2수분펌프부
400: 제어부

도면

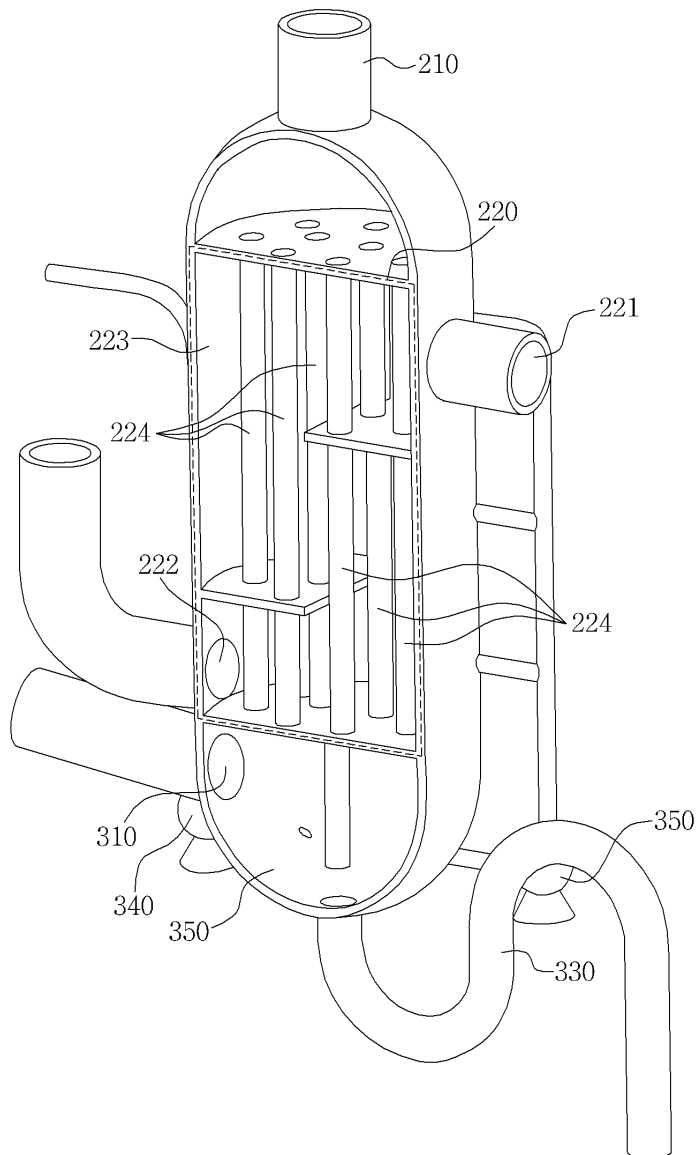
도면1



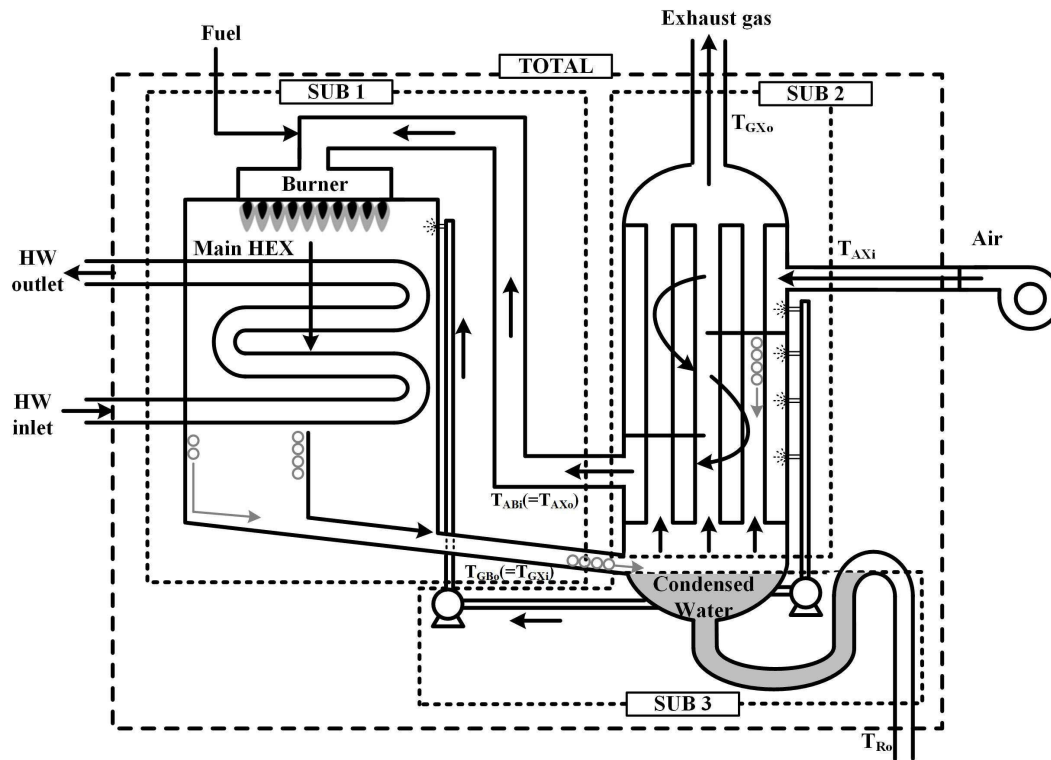
도면2



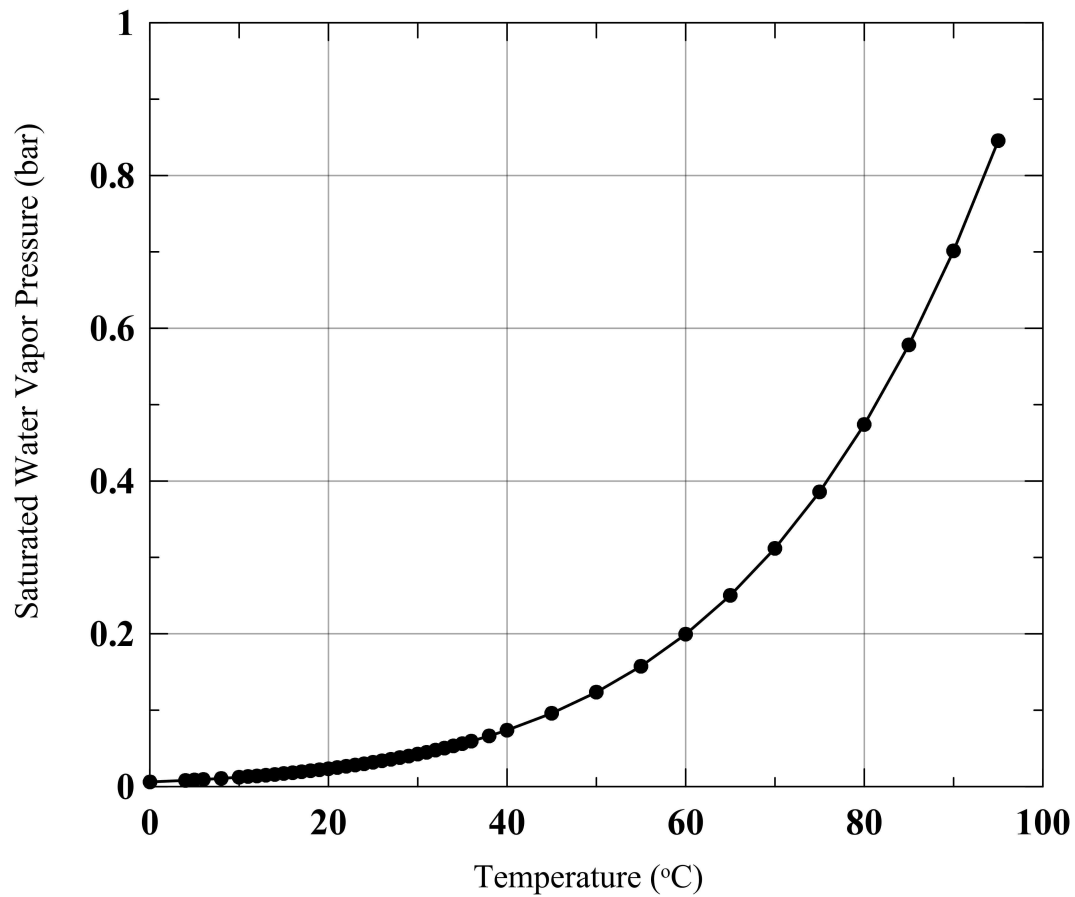
도면3



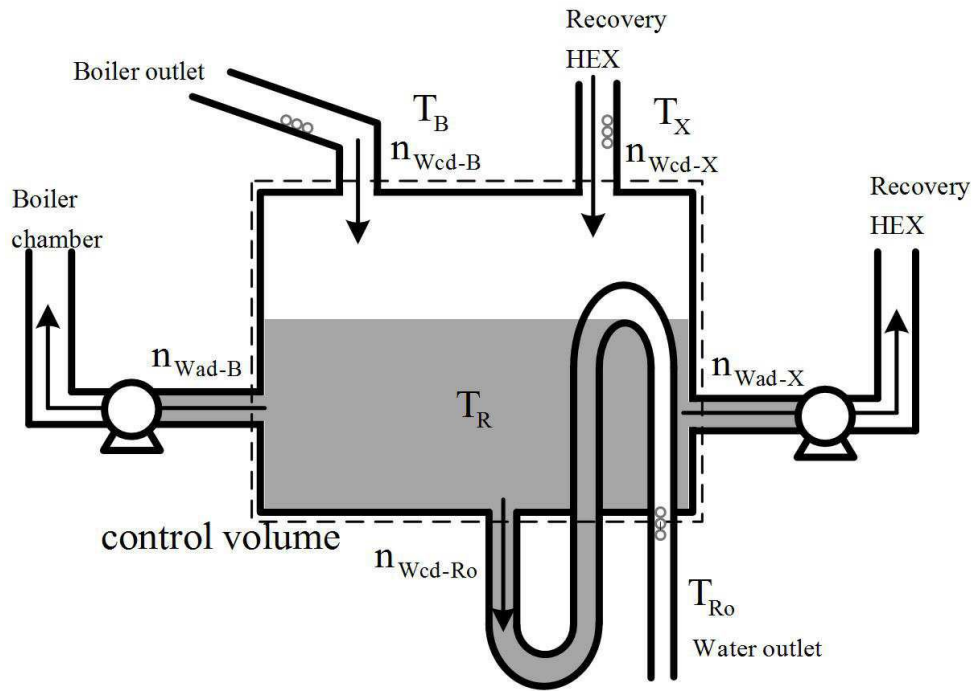
도면4



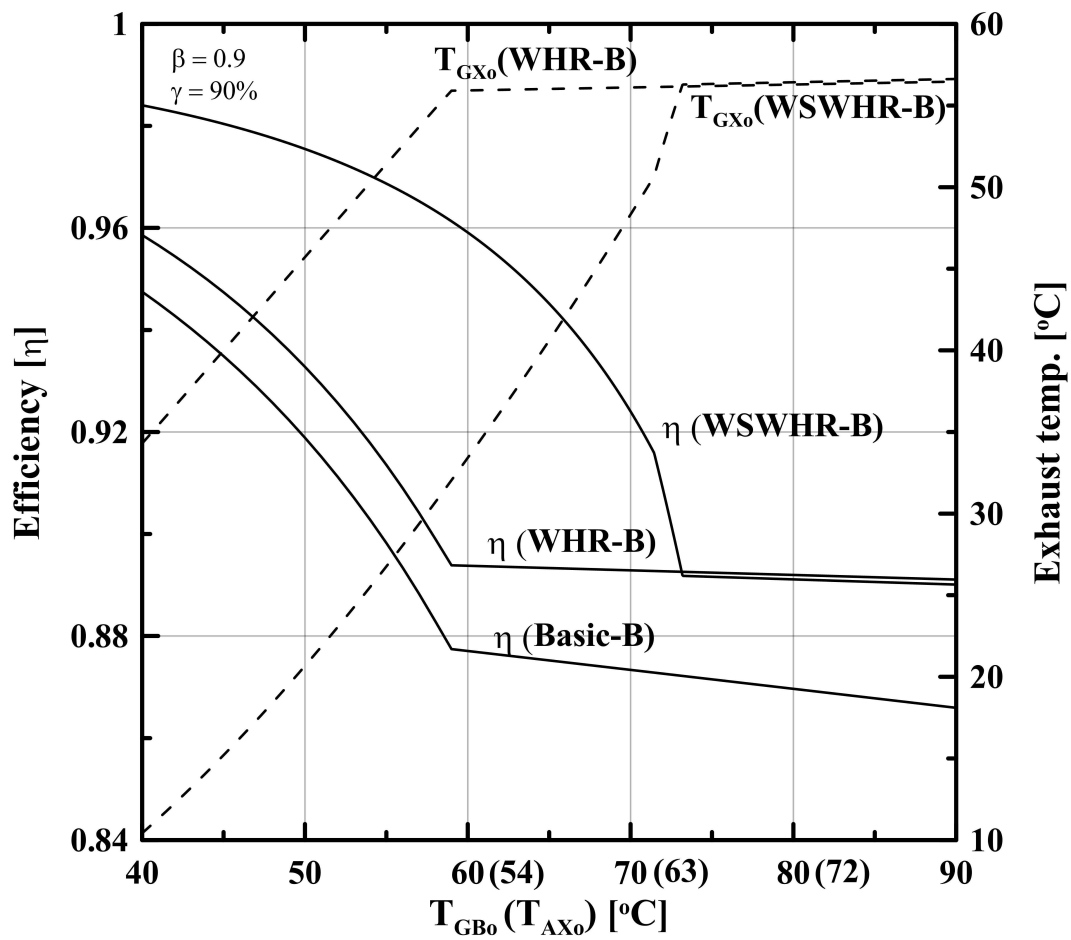
도면5



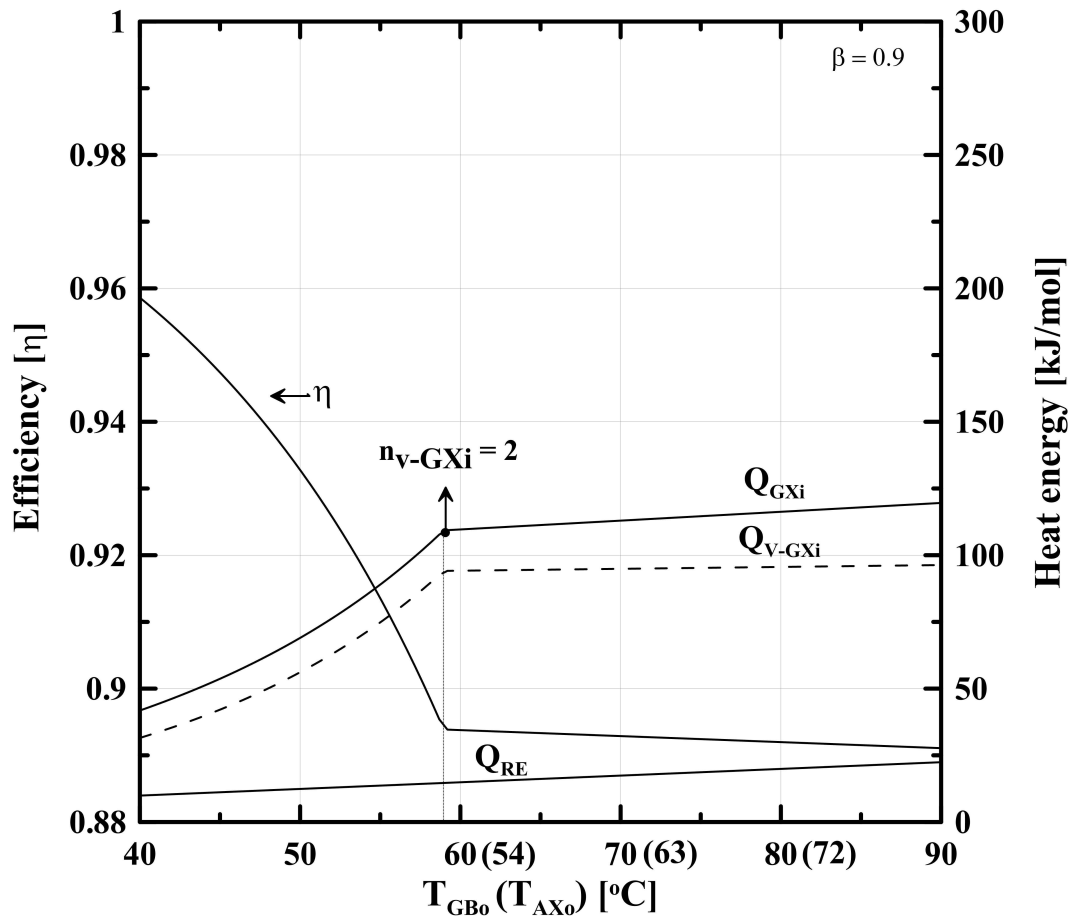
도면6



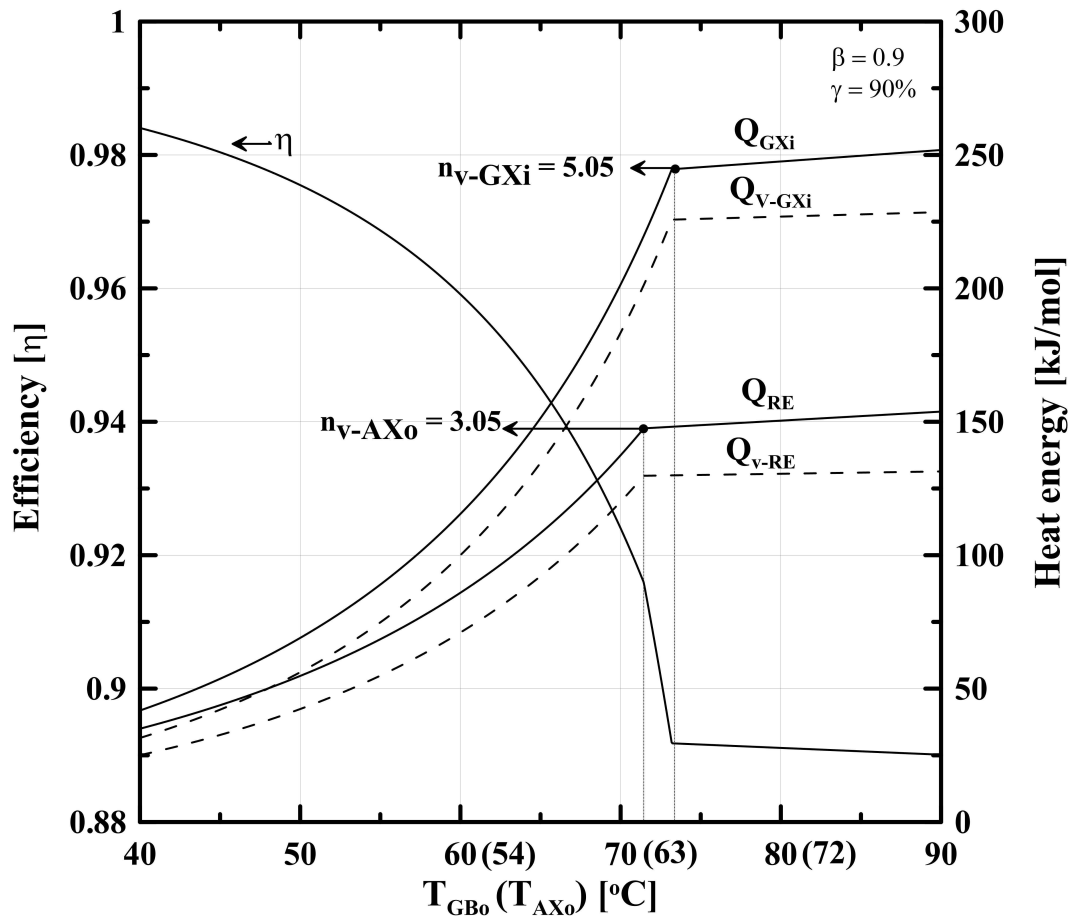
도면7



도면8



도면9



도면10

