

고효율 노통연관식 콘덴싱 보일러

Gas fired condensing boiler

신 춘 식
C. S. Shin
(주)대열보일러 제작소



- 1939년생
- 산업용 및 업무용 보일러 분야의 효율개선 및 기술개발에 관심을 가지고 있다.

1. 콘덴싱 보일러의 개발

1.1 개발동향

가정용보일러를 비롯하여 산업용 업무용 보일러에 이르기까지 보일러의 효율을 높이기 위한 여러가지 연구와 개발등이 수행되고 있다. 보일러 효율을 높이기 위한 방법으로는 첫째 보일러 표면을 통한 방열손실을 줄이고 둘째 연료를 최적의 상태로 완전 연소시킴과 셋째 보일러의 배기가스 온도를 낮추고 그 양을 줄여서 배기 열손실을 최소화하여야 한다.

보일러 표면의 방열 손실은 열정산상 손실량이 1%미만으로 미미하며 성능이 우수한 단열재 보온재를 사용하더라도 손실량을 줄이는데는 한계가 있다. 보일러 효율은 입력분에 출력의 100분율로 표시되고 출력과 손실의 합계가 총입력이 되며 손실의 대부분은 보일러의 배기가스를 통하여 공중으로 버려지는 열 손실이므로 이 열 손실을 줄이기 위하여는

- (1) 버너 송풍기등 성능이 우수한 연소 기구를 부착하여 연료를 완전연소가 될수 있도록 그 조건을 개선하여 주고
- (2) 사용연료 버너 송풍기 및 통풍방식등에

따른 보일러의 형태 연소실의 크기 진열면적 통풍손실 등 최적보일러를 설계하여야 하고

- (3) 보일러 본체에서 배출되는 배기가스 통로중에 공기예열기 에코노마이저를 부착하여 배기가스 중의 손실열을 회수하여야 한다.

보일러 연료 및 연소기구등을 아무리 이상적으로 선택한다 하여도 열을 흡수하는 보일러 내부의 포화수 온도가 스팀의 압력에 따라 일정하게 높게 유지되고 있으므로 배기가스 온도를 낮추는데는 한계가 있다.

가령 압력이 10Kg/cm²인 보일러의 포화수온도는 183°C이므로 배기가스의 온도는 50°C이상 높여져 230°C정도도 되는것이 일반적이며 이때 보일러 효율은 대략 88~89%정도 되는 것이다. 보일러 효율을 증가시키기 위하여서는 보일러 본체와 공기예열기 절단기를 설치하여야 하며 기존 열교환 방식을 사용하게 되면 전열면적을 과도하게 증대시켜야 하고 보일러 본체옆에 열회수 장비를 설치하게 되면 연도, 공기덕트등이 복잡하기 때문에 부자비와 설치공간이 증대되며 효율향상으로 인한 경제성이 없게되는 것이다. 이에 열

회수 설비가 고성능화된 장비를 설치하고 본체와 일체로 하는것이 바람직하겠다. 도시가스는 석탄 유류와는 달리 노점 이하에서는 금속을 부식시키는 유황(S)성분이 없고 분진발생의 원인이 되는 회분을 포함하지 않아 그으름(Soot)발생이 적은 연료이므로 보일러 배기가스통로중에 공기예열기 (airpreheater)와 응축형에코노마이저 (condensing economizer)를 설치하여 연소가스중에 포함되어 있는 현열(sensible heat)과 수증기의 응축 잠열(latent heat)을 회수하여 효율을 100% 이상 향상시키는 중대형 산업용 난방용 condensing gas boiler의 개발이 요구되고 있다.

1.2 외국에서 개발된 콘덴싱 보일러

대부분 유럽지역에서는 우리나라와는 달리 온도가 60℃를 넘지 않는 저온수난방을 system를 채택하고 있다. 콘덴싱보일러는 1970년도 유럽지역에서 개발되어 소규모 가정용 보일러(10,000~25,000Kcal/Hr) agpo, viessman, okomix flydrothem사 등이 생산하여 왔고, 1997년도 독일 프랑크 후르트에서 개최된 전시회에는 용량 100,000~400,000Kcal/Hr 정도가 저온수 보일러의 배기가스 통로중에 급탕가열용 에코노마이저를 설치하여 최종배기온도가 50℃이하로 낮추고 효율을 106~108% 까지 향상시킨 valliant, buderus, viessman froling, ygnis사 등의 콘덴싱 보일러가 출품되었다.

1.3 콘덴싱 보일러 국내 개발 동향

현재 국내에서는 (주)경동보일러에서 저위발열량 기준 103% 정도의 가정용 소형온수보일러를 개발 생산판매하고 있으며 산업용 업무용으로는 당사가 유일하게 1993년부터 고효율 가스보일러의 개발에 착수하여 중온수보일러용, 스팀보일러용으로 15T/Hr까지 실용화에 성공하였고에

너지 관리공단의 시험결과 저위발열량 기준 100% 이상의 효율을 검증받았다. 또한 공기조화 냉동 공학회로부터 에너지 이용효율을 극대화한 공적으로 기술상을 수상한바도 있다.

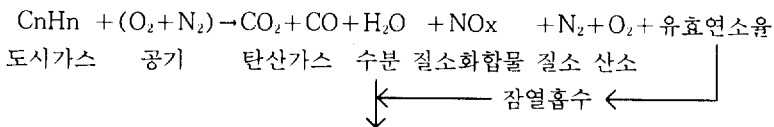
2. 콘덴싱 보일러의 원리

가스연료는 탄화수소의 화합물(CnHn)로 되어 있으며 공기중의 산소는 보일러 연소실에서 연소시키면 탄소와 화합하여 탄산가스를 발생하고 이를 연소열(고위 발열량)이라고하고 연료중의 수소는 산소와 화합하여 물(H₂O)이 발생되며 이 물(H₂O)은 연소열에서 잠열을 흡수하여 과열 수증기로 변하여 배기가스와 함께 대기로 배출된다.

이때 잠열을 빼앗기고 남는 열량을 보일러가 흡수하게 되고 이를 연료의 저위발열량이라 하며 이는 세계 각국의 모든 보일러의 효율계산의 기준이 되는 열량(압력)이다.

따라서 보일러 배기가스중에 포함되어 있는 과열수증기가 응축시 다시 발생하는 잠열을 이용하여 온수를 가열하므로 보일러 효율을 저위발열량 기준 100% 이상 향상시킬 수 있으며 이를 콘덴싱 보일러라 한다. 석탄이나 오일을 연소시키는 보일러의 배기가스중에는 유황(S)성분이 포함되어 있어 과열수증기의 온도가 노점이하 온도로 에코노마이저의 표면에서 응축되어 물이 생기면 에코노마이저는 물론 연도의 철판을 부식시키는 황산(H₂SO₄)이 발생하여 콘덴싱보일러의 실용이 불가능하게 된다. 도시가스는 유황성분이 없고 연소조건을 향상시키기가 용이하고 그으름(soot)의 발생이 적어 배기가스를 응축시켜도 재료를 부식시키는 영향이 적어 잠열을 회수하는 콘덴싱보일러의 실용이 가능하다.

콘덴싱 보일러는 다음에 표시되는 도시가스의 연소공학에서 그이론과 실제가 정립되고 있다.



수증기로 변하여 연소가스와 같이 외부로 방출됨.

즉 연소과정중에 발생하는 수분(H₂O)은 유효 연소열 중에서 약 10%에 해당되는 잠열을 흡수하여 수증기로 변하여 외부로 방출되는 것이다. 이 과열된 수증기는 무색이므로 육안으로 볼 수 없으며 단지 겨울철 외기온도가 노점이하로 낮아지면 응축되고 작은 물방울로 변하여 굴뚝에서 마치 흰 연기가 나는듯이 보이게 되고, 겨울철 자동차를 시동시킬때 배기가스통 끝에서 물이 나오는 것도 연소 가스중의 수증기가 찬 배기가스통에 의하여 응축되기 때문에 생기는 현상이다. 콘덴싱 보일러는 외부로 방출되는 연소 가스중의 수증기를 에코노마이저와 접촉 콘덴싱(응축)시켜 약 10% 정도의 잠열을 다시 회수하게 되어 고효율을 발휘할 수 있게 된다.

보일러 배기가스중의 현열과 응축잠열을 회수하고 그온도를 50℃정도 이하로 낮추면 스팀용 콘덴싱보일러의 이론효율도 108% 정도까지 얻을 수 있으나 실제 연소시 급탕온수의 온도, 과잉공기, 미연소분이 존재하게 되어 공기예열기 응축형 열교환기가 열을 완전히 회수하지 못하는 점을 고려할때 콘덴싱보일러의 실제 운전 효율은 99~105% 정도가 되게된다.

3. 콘덴싱보일러와 에너지 절약

3.1 난방 급탕용 콘덴싱보일러

우리나라의 에너지 수입액은 연간 약 250억불 정도이며 소비율 및 소비증가율은 상당히 높은 편이며 또한 단위제품 생산에 필요한 에너지 소비량도 일본에 비하여 4.5배 대만에 비하여 2배 정도로 높게 나타나고 있다. 에너지 수입량을 줄이고 무역수지 역조를 방지하기 위하여는 에너지 절약이 그 어느때보다 절실히 요구되고 있고 정부나 에너지유관기관 실수요자들이 에너지절약에 적극 앞장서고 있는 것이 현실이나 구체적인 방법이 결여된 형식적이고 구호에만 그치는 절약은 그 한계가 있는 것이다. 에너지 쇼크이후 정부가 에너지 절약에 10년이상 노력을 해왔으나 현실은 일본이나 대만에 비하여 단위제품생산당 에너지소비량이 크게 나타나고 있는 것이 이를 여실히 증명하는 것이다. 발전용 보일러 자동차

가정용 보일러 각종공업도시가스기구 가스냉온수기 등을 제외한 에너지 소비가 산업용 난방용 대형 임무용 빌딩 아파트 공장용 보일러 호텔, 병원, 목욕탕 등에서 설치되어 사용되는 보일러의 에너지 사용량은 전체 수입액의 30% 정도이며 이중 60~70% 정도가 도시가스연소용 보일러임을 감안할때 가스비를 10% 이상 절약할 수 있는 콘덴싱보일러의 설치가 에너지절약에 큰 비중을 차지한다고 볼 수 있다.

3.2 가스냉방과 콘덴싱 보일러

정부는 여름철 피크타임시의 전력수요를 억제하기 위하여 여름철 냉방은 전력을 많이 소모하는 터보 냉동기 대신 가스를 이용하는 가스냉방 방식을 적극 권장하고 있고, 이에 따라 냉방과 난방을 겸용할 수 있는 냉온수기의 설치가 급증하고 있는 추세다.

가스냉온수기의 설치에 따라 겨울철 난방용 보일러의 수요가 격감하고 있다. 가스 냉온수기는 냉난방 겸용이므로 사용하기 편리하고 설치가격이 저렴하고 설치스페이스가 작게 든다는 이점이 있기 때문이다.

그러나 ① 냉온수기를 설치한다하여도 별도의 급탕 및 가습용 스팀보일러를 설치하여야 되므로 설치공간이나 설치비등에서 유리하지 않고 ② 냉온수기 구조상 고온재생시는 여름철에는 냉방용으로 겨울철에는 난방용으로 계속 사용하므로 수명이 오래가지 않으며 ③ 진공으로 운전되는 고온 재생기가 고장이 나면 값이 비싼 냉온수기 전체를 교환하여야 하며 ④ 냉온수기는 배기가스온도가 260℃를 넘어 효율상 불리하며 ⑤ 냉온수기는 확실한 냉온수 온도에 따른 성능이 아직은 확실히 보장되지 않아 용량을 과잉설계 선정하는 경향이 있다.

콘덴싱보일러와 스팀흡수식 냉동기를 설치하면 설치비와 설치공간은 냉온수기에 비하여 약간은 불리하지만 별도의 가습 급탕용 보일러를 설치할 필요가 없으며 열효율이 100% 이상 보장되므로 수년간만 운전하여도 절약되는 에너지 비용으로 투자전액을 회수할 수 있다. 또한 콘덴싱 보일러와 흡수식냉동기를 병렬운전하면 냉동기

는 여름철에만 보일러는 연중무휴로 운전되는 보일러의 수명이 다하면 보일러만 교환 설치하므로 냉운수기에 비하여 종합수명을 2배이상 볼 수 있습니다.

4. 콘덴싱보일러의 열회수 장치

현재 국내에 설치되는 아파트 병원 호텔 학교 주상복합 빌딩 등에서는 용량이 매우 큰 스팀용 가스보일러가 설치되고 있으며 대부분 온도가 높은 응축수를 회수하여 다시 보일러 급수로 사용하는 난방방법을 채택하고 있다. 응축수를 회수하므로 콘덴싱에코노마이저를 보일러 급수가열 용으로는 사용할 수 없으며 급탕용 급수를 가열하면 그양이 많아 사용처가 없게 되는 문제점이 있다. 따라서 콘덴싱 보일러는 보일러와 콘덴싱에코노마이저 사이에 히트파이프로 제작된 공기예열기를 설치하여 보일러 배기가스의 열회수를 적절히 안배하여 급수로 가열하여 급탕용으로 사용하고 연소용 공기도 100°C 이상으로 예열하여 보일러의 연소도 최적의 상태로 유지시켜 줄 수 있는 방법을 채택하고 있다.

4.1 히트파이프식 공기예열기

가. 히트파이프의 개요

진공상태에서 불, 후레온과 같은 액체는 매우 빠른 속도로 용이하게 잠열(기화열)을 회수하여 증발한다. 히트파이프는 진공으로 된 보일러용 파이프(탄소강관) 내부에 열매체인 작동유를 봉입하고 표면에는 열전도성이 우수한 알루미늄, Cu, SS등위 스파이랄 핀(spiral fin)을 부착시킨 고성능 열이동 파이프이다.

고온의 배기가스에 접촉되어져 있는 증발부의 작동 유체는 환을 통하여 흡수되는 열에너지에 의하여 증발되어 저온의 응축부로 이동되고 여기에서 외부로부터 유입되는 공기 물과 같은 유체 열 에너지를 전달하고 응축된다.

응축된 작동유는 증발부로 되돌아오며 이런 과정을 되풀이 하면서 열을 이동시키는 고성능 열전달 파이프이다.

나. 히트파이프 개발동향

히트파이프는 1968년 미국텍사스주에 소재한 Q DOT사에서 개발된 이래 산업 공조용으로 사용되는 에너지를 회수하는 열교환기용파이프로 사용되고 있으며 최근에 국외세어는 일본, 소련, 영국, 독일등 세계 24여개 국가에서 이를 국산화하여 사용하고 있다. 히트파이프는 보일러 및 각종로등의 공기예열기 급수가열기 폐열보일러등과 공기조화용 환기 열교환기로도 사용되는 등 그 용도가 다양하다.

다. 히트파이프 용도

공기예열기(보일러 및 기타 산업폐가스용)
폐열보일러(소각로 가열로 용해로등의 폐가스 이용)

급수가열기(각종로 및 폐가스)

라. 히트파이프식 공기예열기의 구조와 원리

일반 관형 공기예열기 사용시 가스덕트, 공기 덕트등의 구성이 복잡하여지고 보일러 부하율에 따른 열교환 파이프가 열교환시 금속표면 온도가 불균일해지게 되며 금속부식 및 국부저온 부식을 초래하게 된다. 이는 공기예열기의 수명을 단축시키며 그으름(soot)의 부착이 용이하게 된다. 히트파이프식 공기예열기는 파이프 내부는 진공으로 처리된 열이동 파이프로 열교환시 파이프 전표면이 균일 온도가 되어 그으름의 부착이 적고 부식의 원인이 제거되어 수명이 오래가게 된다. 고효율 가스보일러는 히트파이프식 공기예열기를 채택하는 것이 유리하다.

그림 1에서 보는바와 같이 보일러 전면에 18도 경사로 설치된 히트파이프내의 증류수는 배기가스의 열을 흡수하여 빠른 속도로 증발되어 경사면을 따라 응축부로 이동되고 송풍기에서 공급되는 연소용 공기에 열을 전달한 후 응축되어 증발부로 되돌아오며 이런 과정을 되풀이 하므로써 배기가스 온도를 낮추고 연소용 공기를 예열하는 장치를 히트파이프식 공기예열기(heat pipe air-preheater)라 한다.

4.2 콘덴싱 에코노마이저

그림 2와 같이 본체는 외부케이싱, 전열관, 응축수 회수부로 구성되고 있는 히트파이프식 공기예열기에서 나온 배기가스를 통과시켜 연소중 발

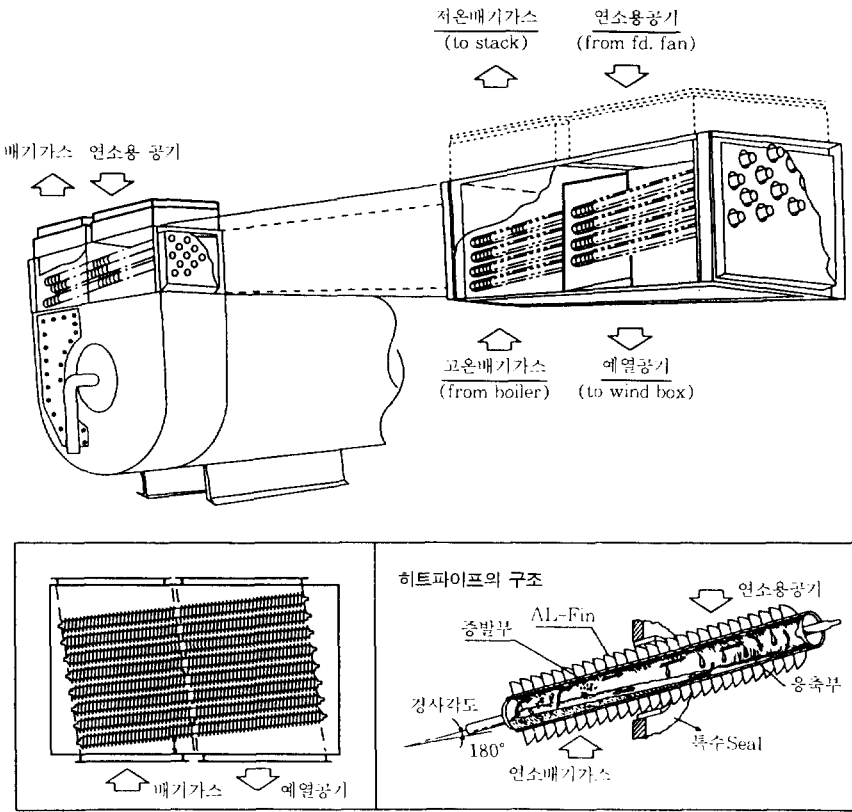


그림 1 히트파이프식 공기예열기의 구조와 원리

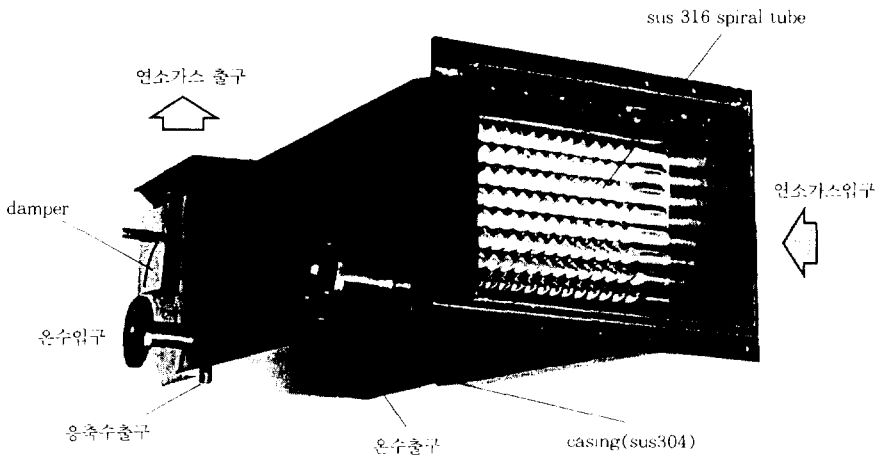


그림 2 콘덴싱 에코노마이저의 구조와 명칭

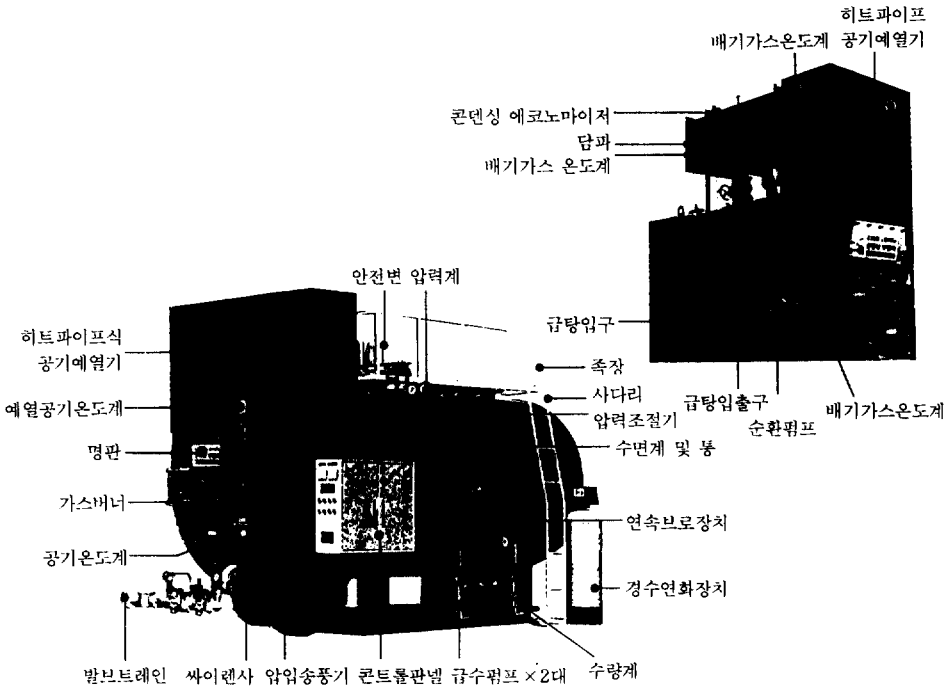


그림 3 콘덴싱보일러의 구조와 명칭

급탕가열 economizer flow sheet

보일러 급수 economizer flow sheet

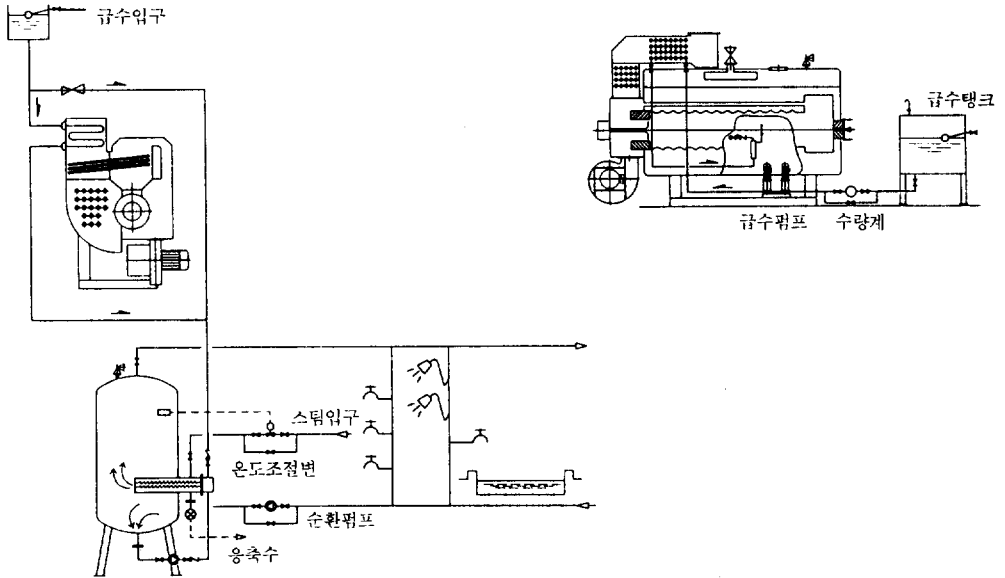


그림 4 급탕가열 및 보일러 급수

생한 과열증기의 잠열과 연소가스의 현열을 관측에 온수를 통과시켜 이곳에서 회수하게 된다. 전열관은 전열성능이 우수하고 설치공간의 크기를 줄일 수 있도록 스파이럴관(spiral tube)이나 핀 튜브(fin tube)를 사용하고 산 부식에 강한 재질을 선택하는 것이 좋다.

4.3 콘덴싱 보일러의 구조와 명칭

콘덴싱보일러는 보일러 본체, 콘트롤판넬, 히트파이프식 공기예열기, 콘덴싱 에코노마이저, 압입송풍기, 가스 버너의 부대장비로 구성되어 있고 그림 3에 이를 도시하였다.

콘덴싱에코노마이저의 열회수 방식은 2가지로 그림 4와 같이 응축수회수형의 경우 및 급탕가열 방식이 있으며 증기소비형에는 보일러 급수로 사용되고 응축수 회수형은 급탕용 온수를 가열하게 된다.

5. 콘덴싱 보일러와 환경

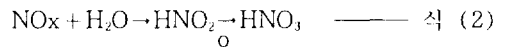
최근 정부는 깨끗한 환경을 보전하고 에너지 비상시를 대비하여 연료를 다변화 시키는 정책의 일환으로 일정 규모이상의 산업용 난방용 보일러는 지역에 따라 도시가스의 사용을 의무화하고 있다. 또한 여름철 피크타임 전력수요를 줄이기 위하여 가스보일러를 사용하는 가스냉방도 적극 권장하고 있다.

현재 평택인수기지를 중심으로 서울, 인천, 경기, 대전등에 가스가 보급되고 있으며 2000년까지는 가스공급 주 배관이 통과하는 인접 시 읍

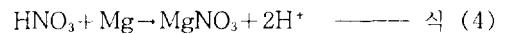
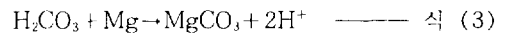
단위까지 가스 공급이 확대되고, 도시 가스의 보급이 어려운 지역은 도시가스 제조회사를 통하여 프로판가스와 공기를 혼합하여 제조하는 도시가스(LPG + AIR)가 공급되고 있다.

도시가스는 방커C유나 경유에 비하여 환경에 영향이 적게 미치는 청정연료 이나 도시가스도 연소하게 되면 CO₂, CO, NOx를 발생하여 환경에 영향을 미치게 된다. 선진국에서도 이 양을 줄이기 위해 저 NOx버너, 저 NOx 보일러등을 개발하여 사용하고는 있으나 CO₂는 그대로 방출되고 NOx는 60ppm 이하에서 배출되는 정도이다.

가스보일러는 가스 버너에서 연소되어 CO₂가 10~12%, NOx는 60~80ppm이 되어 대기로 방출하게 된다. 이는 산성비 대류권의 오존발생 및 성층권의 오존층 파괴를 유발하게 된다. 콘덴싱 보일러 사용시 식 (1), 식 (2)에서 보는바와 같이 CO₂와 NOx가 연소중 발생한 응축수에 녹아 들어가 대기로 방출시 CO₂ 2~4% NOx 20ppm 이하가 되어 공해 물질이 현저히 줄어들게 된다.



또한 이때 배출된 응축수는 산성(PH 3.5~4.5)을 띠며 이것은 식 (3), 식 (4)에 의해 중화처리(PH 6.5~7)되어 하수를 버려지게 된다.



6. 콘덴싱보일러와 재래식보일러 설치시 경제성 검토

6.1 투자비 비교

분류 종류	콘덴싱 보일러	기존연관식 3Pass 보일러	수관식 2Pass 보일러	비 고
보일러 본체	34,000	34,000	45,000	수관식은 현장에서 조립하여야 하므로 가격이 비싸짐.
보일러 본체	25,800	25,800	25,800	브라스트식 가스버너
송 풍 기	3,000	3,000	3,000	turbo type

분류 종류	콘덴싱 보일러	기존연관식 3Pass 보일러	수관식 2Pass 보일러	비 고
공기에열기	18,800	0	0	heat pipe식
에코노마이저	8,500		0	sus 316 spiral tube type
급수펌프	5,200	5,200	5,200	Grundfos사 제품
수 량 계	600	600	600	Oval 직독식
연속브로장치	4,000	4,000	4,000	
청관재투입장치	3,200	3,200	3,200	
청수장치	4,200	4,200	4,200	이온교환수지 Type
송풍기 기초 및 파이프연결공사	0	3,000	3,000	콘덴싱 보일러는 본체에 포함됨
급수펌프기초 및 파이프연결공사	0	3,000	2,000	상동
관널설치 및 전기 공사	0	2,000	2,000	상동
수 치 Spass	100%	130%	180%	송풍기 급수펌프 관널등을 현장 에서 별도 설치 하므로
투자비 금액차	107,300	88,000	99,000	공기에열기 및 에코너마이저 가격 27,300,000원이 추가된 것 만큼
투자비 비교	100%	82%	92.9%	가격 차이는 나지 않고 있음.
효율	99%	89%	89%	가스대금 : 215원/Nm ³
년간 가스 대금	3억 8천	4억 2천	4억 2천	가동시간 × 300Hr/Year
투자 회수 기간	2년 6개월			2년 6개월후에는 계속투자 경영 을 할 수 있음.

6.2 투자비의 회수

이상의 비교표에서 보는바와 같이 콘덴싱 보일러의 투자비는 기존 연관식 보일러에 비하여 19,300,000 원 수관식 보일러와 비교하여 약 8,300,000원이 비싸지지만 연간 연료비 차액은 연간 3천시간 가동하는 것을 기준으로 할때 전체의 10%에 해당되는 4천만원이 된다.

이 수치는 보일러 투자비 전액을 약 3년만에 회수할 수 있다는 결론이며 보일러 사용년수 10년으로 볼때 콘덴싱 보일러를 설치하면 10년동안 약 4억원의 연료비를 절약할 수 있는 것이다.

또한 콘덴싱 보일러를 설치하면 공기에열기 및 에코노마이저 등을 포함하여 모든 부대시설이 보일러 본체에 포함되어 있어 설치 스페이스를 별

도로 크게 차지하지 않는 장점이 있다.(단 비교표에 표시된 가격은 추정치이므로 참조하기 바람)

6.3 연료별에 따른 경제성 검토

가. B/C유

* 저위발열량 : 9,750Kcal/kg
9,262Kcal/ℓ (비중 : 0.95)

* 발열량 대비금액 : $\frac{9,262\text{Kcal}/\ell}{155\text{원}/\ell}$
= 59.8Kcal/원

* 보일러 효율대비 금액 :
59.8Kcal/원 × 0.88(η) = 52.6Kcal/원

나. 경유(diesel)

* 저위발열량 : 10,300Kcal/kg
8,459Kcal/ℓ (비중 : 0.83)

$$* \text{ 발열량 대비금액} : \frac{8,549\text{Kcal}/\ell}{355\text{원}/\ell}$$

$$= 24.1\text{Kcal}/\text{원}$$

$$* \text{ 보일러 효율대비 금액} :$$

$$24.1\text{Kcal}/\text{원} \times 0.92(\eta) = 22.2\text{Kcal}/\text{원}$$

다. LNG

$$* \text{ 저위발열량} : 9,550\text{Kcal}/\text{Nm}^3$$

$$* \text{ 발열량 대비금액} : \frac{8,549\text{Kcal}/\ell}{355\text{원}/\ell}$$

$$= 24.1\text{Kcal}/\text{원}$$

$$* \text{ 보일러 효율대비 금액} :$$

$$24.1\text{Kcal}/\text{원} \times 0.92(\eta) = 22.2\text{Kcal}/\text{원}$$

라. 단위금액에 대한 경제성

$$* 52.6\text{Kcal}/\text{원} > 44.4\text{Kcal}/\text{원} > 22.2\text{Kcal}/\text{원}$$

$$* \text{B/C}(1) > \text{LNG}(1.18) > \text{경유}(2.37)$$