

보일러 배가스 응축열회수 기술

보일러로부터 배출되는 증저은 배가스의 응축열회수를 위한 열교환기의 개발 현황을 소개하고자 한다.

박 상 일

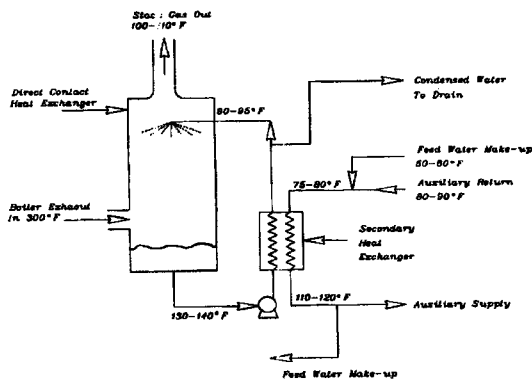
한국에너지기술연구원 산업효율연구센터 (sipark@kier.re.kr)

응축형 열교환기를 사용하므로써 보일러로 부터 배출되는 배가스에 포함된 현열과 수증기의 잠열을 동시에 회수할 수 있으므로 보일러의 열효율을 최대한으로 증대시킬 수 있다. 그러나 배가스에 함유된 잠열을 회수하면 산노점 이하로 전열면의 온도가 내려가므로 저온부식에 의한 문제가 발생할 수 있다. 연돌에서의 응축으로 인한 부식문제와 연돌에서의 통풍력의 감소에 의한 문제도 있다. 그리고 열교환기의 전열면에 응축하는 응축수의 문제도 제기된다. 그러나 보일러의 연료를 가스로 사용하는 경우 응축수에 의한 부식문제가 비교적 적기 때문에 최근에 많은 연구가 수행되고 있다. 그리고 연료로 기름을

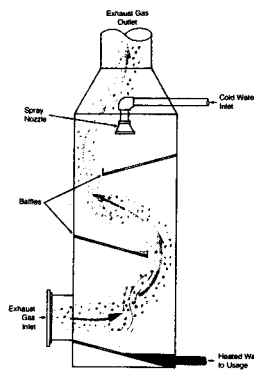
사용하는 경우 테프론 및 내식성 재질을 사용하므로써 부식에 의한 문제를 해결할 수 있고 더 나아가 응축형 절탄기는 배가스내에 포함된 분진등의 오염물질을 제거하는 기능 등이 있어 최근에 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 다음에 응축형 열교환기에 관련된 연구현황을 간략하게 나타내었다.

직접접촉형 열교환기

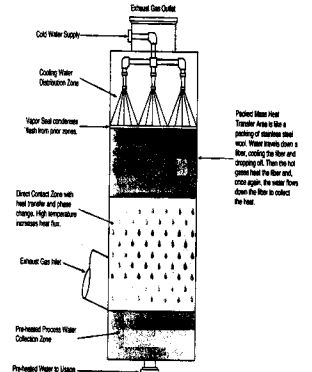
그림 1에 직접접촉 방식의 열교환공정을 나타내었다. 대개의 직접접촉 방식의 열교환기는 Baffle-tray columns, Spray chambers, Packed tower,



a) 물분사식 직접접촉 열교환기



b) 배틀을 이용한 직접접촉 열교환기



c) 팩킹을 이용한 직접접촉 열교환기

[그림 1] 직접접촉 방식의 열교환공정



Cross-flow-tray columns 와 pipeline contactors를 사용한다. 이러한 직접접촉식 열교환기를 설치할 경우 배가스의 온도를 응축온도이하로 낮추어 약 50% 이상의 잠열을 회수하므로 열효율의 증가를 얻는다.

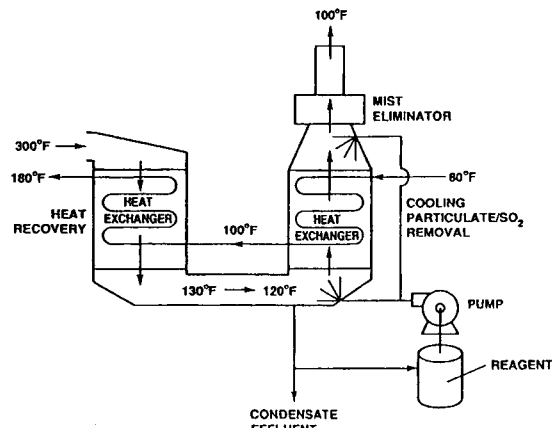
간접접촉 방식의 장점은 물을 80℃ 이상으로 가열할 수 있다는 것이며 단점으로는 배가스를 45 ~ 50℃로 내리기 위하여 온도차를 적게 유지해야 하므로 전열면적이 크고 장치비가 비싸다는 것이다. 장치의 운전과 보수 면에서 배가스 압력손실이 비교적 크고 배가스내의 분진으로 인한 오염가능성이 있다.

CHX 열교환기

미국의 CHX 열교환기는 테프론으로 보호된 전열관을 사용하여 저온부식 문제를 해결하였다. 이 장치는 1차 열교환기, 2차 열교환기, 열교환기 사이의 영역과 물방울 제거장치로 구성되어 있다. 대부분의 현열이 1차 열교환기에서 흡수된다. 2차 열교환기는 응축열을 회수하며 SO₂, 분진과 중금속의 오염물질을 제거한다. 분진포집 효율은 90%이며, SO₂의 제거 효율은 99% 이다(그림 2).

CEECON 응축형 절탄기

영국의 British Steel Tinplate 사에서는 그림 3과 같은 CEECON 응축형 절탄기를 개발하였다. 이 열

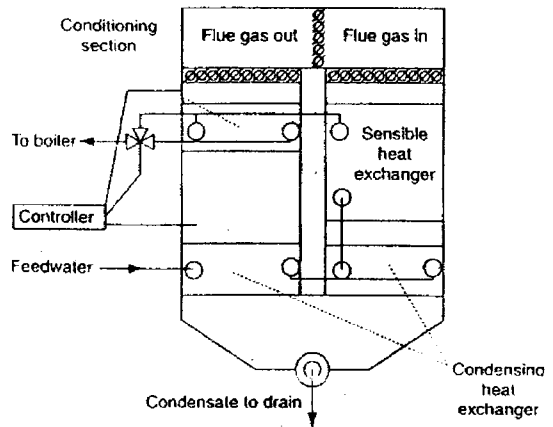


[그림 2] 테프론 보호관을 사용한 CHX 열교환기

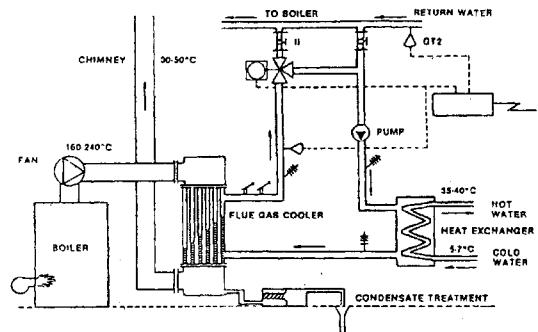
교환기는 핀튜브 현열전열부, 스테인레스 재질의 나관을 사용한 응축부와 물방울을 제거하는 배가스의 조절부로 되어있다. 배가스 조절장치를 사용하여 배가스의 온도를 노점이상으로 유지하여 연돌의 부식 문제를 해결하였다.

FAGERSTA 응축형 열교환기

스웨덴의 Fagersta 사에서는 배가스의 온도를 산과 수증기의 응축온도 이하로 유지하여 열교환기의 전열면을 부식시키지 않고 냉각시키는 방법을 개발하였다. 배가스의 제한온도는 연료의 황함유량, 과잉공기비, 배가스의 수분함량과 배가스 압력 등에 관계가 있다. 이 열교환기는 전열관 내부로 배가스가



[그림 3] 영국의 CEECON 응축형 열교환기

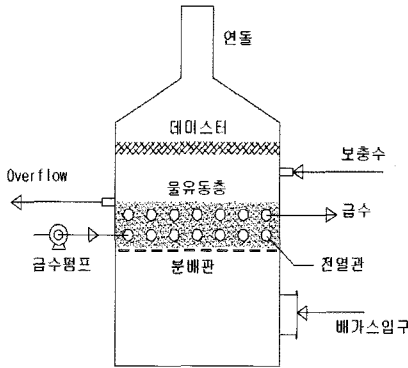


[그림 4] FAGERSTA 응축형 절탄기

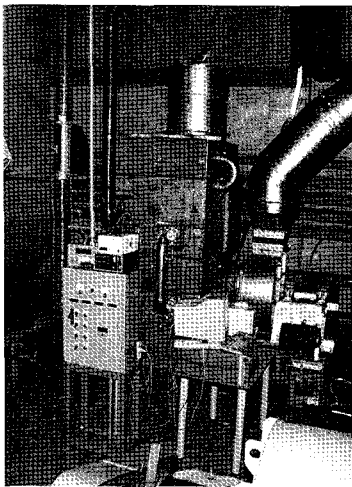
흐르고 바깥쪽으로는 냉각수가 흐른다. 실험결과, 중유의 황함유량이 1.0% 이하인 경우 응축시의 부식은 없었다(그림 4).

물유동층 응축형 열교환기

한국에너지기술연구원에서 개발한 물유동층 열교환기의 개략도를 그림 5에 나타내었다. 물유동층 열교환기는 배가스 유로에 다공판을 설치하고 다공판 위에 물유동층을 형성하여 전열관군을 물유동층내에 위치시켰다. 이로서 전열면에서의 열전달율이 증대되고, 응축잠열을 효율적으로 회수할 수 있다. 그리



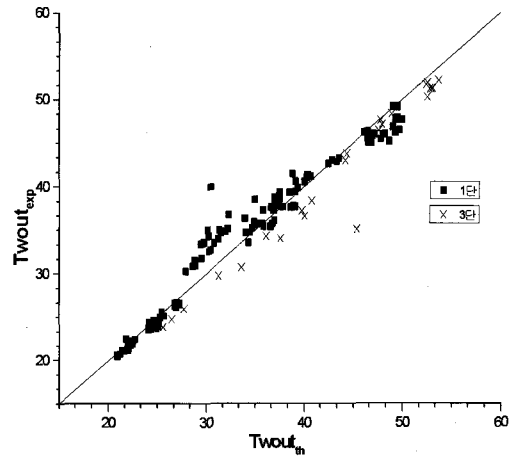
[그림 5] 물유동층 열교환기의 개략도



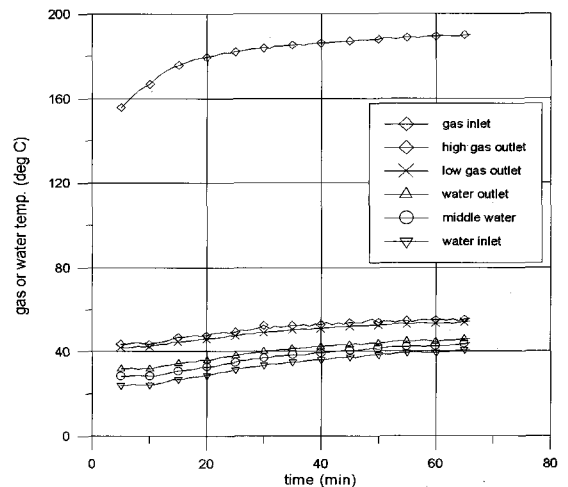
[그림 7] 물유동층 열교환기 설치장면

고 전열면이 항상 젖은 상태를 유지하여 산성성분의 농축으로 인한 부식 가능성이 적어서 저온부식 문제를 해결하였으며, 유동화에 의한 전열면에서의 파울링 저감이 가능하다. 그림 6에 물유동층 열교환기의 성능 측정결과와 이론해석결과를 비교하였다.

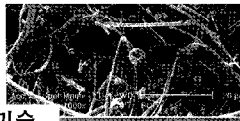
대전 시내의 H 아파트의 가스보일러의 배가스로부터 폐열을 회수하여 난방수를 예열하기 위한 물유동층 응축형 열교환기를 설치하여 현장실증실험을 수행하였다. 대전의 1380세대의 H 아파트의 가스보일러에 설치한 물유동층 열교환기를 그림 7에 나타



[그림 6] 물유동층에서의 물출구온도의 실험과 이론 비교



[그림 8] 배가스 및 난방수 온도



내었으며 그림 8에 열교환기의 배가스와 난방수의 온도 측정결과를 나타내었다.

물유동층의 배가스 평균 입구온도는 182℃이며, 배가스 출구온도는 상단과 하단에서 약 50℃이며, 난방수 출구온도가 약 40℃ 정도이다. 물유동층 열교환기의 전체 회수열량은 약 368 kW 정도이며, 난방수 입구온도는 초기에 약 25℃ 정도이나, 시간이 경과하면서 약 40℃ 정도까지 증가한다. 그리고 열교환기 성능실험 동안의 평균 난방수 입구온도는 약 33.5℃ 정도로 나타났다. 난방수 평균출구온도는 약 40℃ 정도로 난방수의 승온량은 약 6.5℃ 정도가 된다. 물유동층 열교환기에서의 배가스내의 수증기의 응축으로 인한 잠열회수열량은 172 kW 정도로 전체 회수열량의 약 46% 정도로 나타났으며, 응축수의 발생량은 약 0.067 kg/sec 정도로 측정되었다.

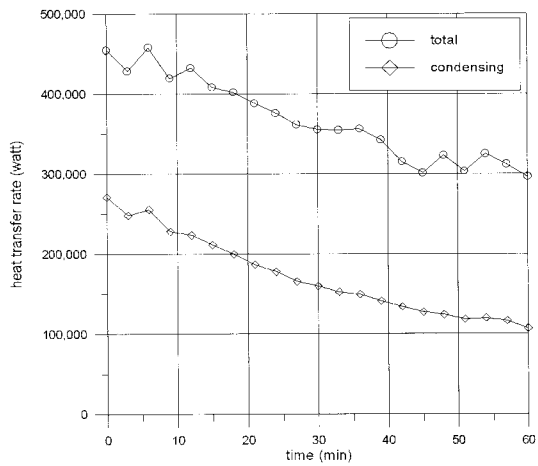
물유동층 열교환기의 현장실험에서의 측정자료를 사용한 열교환기 성능분석을 통하여 계산한 물유동층 열교환기의 시간에 따른 에너지절감율의 변화를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 보면, 보일러에서의 물유동층 열교환기에 의한 에너지절감율은 초기에 약 10%에서 시작하여 시간이 경과하면서 감소하여 약 7.5% 까지 감소한다.

응축수의 배출구에서 샘플을 채취하여 시간에 따른 응축수의 pH의 변화를 측정하였으며, pH 측정결과를 보면 초기에 응축수의 pH는 약 5.6 정도이었으며, 시간이 경과하면서 응축수 pH가 약 4.1 정도까

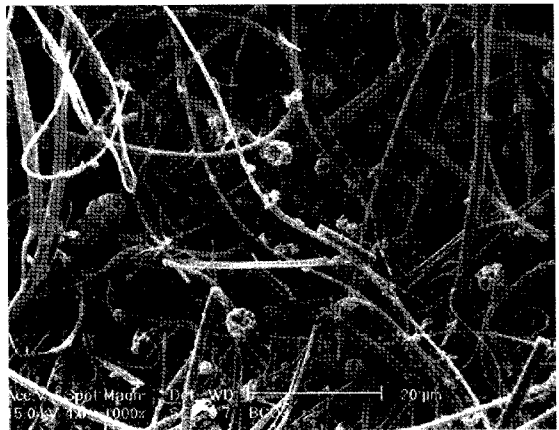
지 내려가는 것으로 나타났다.

이러한 물유동층 열교환기 성능실험 결과, H아파트에 설치한 물유동층 열교환기를 사용한 연간 LNG 절감량은 34,400 m³ 정도로 나타났다. 따라서 이로 인한 연료절감액은 약 1,850만원 정도로 나타났으며, 물유동층 열교환기의 투자회수기간은 약 3년 정도인 것으로 평가되었다.

이러한 물유동층 열교환기를 대전의 H사에 설치하여 부식성의 보일러 배가스의 응축열을 회수하였다. 보일러 배가스의 입출구온도는 각각 163℃와 55℃이었으며, 급수의 입출구온도는 각각 45℃와 50℃이



[그림 9] 에너지절감율 변화



[그림 10] 물유동층 입구와 출구의 먼지사진

었다. 물유동층의 열회수 성능은 실험결과, 보일러에서의 연료절감율이 약 3.9% 정도인 것으로 나타났다. 이러한 부식성 배가스의 물유동층 열교환기는 집진탈황 성능도 또한 우수하다.

H사의 5 ton/hr 용량의 B-C유(황함유량 1.0%) 연소 보일러에 물유동층 시스템을 설치하여 집진탈황에 대한 성능측정 및 분석을 수행한 결과, 물유동층의 배가스 출구에서의 먼지의 공기역학적 절단직경(aerodynamic cut diameter)는 약 4.4 μm 정도인

것으로 나타났으며, 보일러출구인 물유동층의 입구에서의 배가스내의 먼지의 공기역학적 평균먼지입경은 약 10.33 μm 정도이었다. 먼지의 출구농도는 약 20 mg/Sm³ 정도로 집진효율은 86% 정도이다. 그림 10에 물유동층의 입출구에서의 여과포에 포집된 먼지의 현미경 사진을 나타내었다.

그리고 물유동층 열교환기 출구에서의 SO_x의 농도는 18 ppm이며, SO_x 제거효율이 약 88% 정도로 비교적 우수한 것으로 나타났다. ㉔