



배열회수 열교환기를 이용한 열원기기의 고효율화

■ 박형준 / 장한기술(주) 부설연구소, hjpark@janghan.co.kr

서론

국제에너지기구(IEA)의 '세계 에너지 전망(WEO: World Energy Outlook) 2009' 보고서 및 'CO₂ 하이라이트' 보고서에 따르면 우리나라는 연간 1인당 CO₂ 배출량 10.1톤으로 OECD내 국가 중 9위로, 전세계에서는 25위에서 23위로 상승했다. 이는 1990년 이후 88.6%나 증가한 것으로 역시 OECD 국가(평균 3.4%) 중 가장 높은 비율로 증가했다.

'2009년 CO₂ 하이라이트' 보고서에 따르면 우리나라 CO₂ 배출량은 2007년 기준 4억 8천 870만톤(전세계 289억 6천 200만톤)으로 2006년에 이어 2007년에도 OECD내에서 6위, 전세계에서 9위를 차지했다. 분야별로는 발전/열(36.9%), 제조/건설(18.4%) 분야의 비중이 높았다.

산업설비 및 기기에서 배출되는 온실가스의 양은 매년 2억 톤이 넘으며, 이는 우리나라 전체 온실가스 배출량의 절반을 차지하는 양이다. 이와 같은 배기가스의 양을 줄이기 위해서는 신설 열원기기의 고효율화 및 기존 산업설비 및 기기의 배열을 회수최대한 회수 하는 방법이 있다.

가장 적극적인 방법은 배기가스의 온도를 낮추는 방법으로 기존 산업설비 및 기기에 배열회수 열교환기를 이용한 배열회수 시스템의 도입이라 할 수 있다.

일반적으로 고온의 배열을 방출하는 시설은 표 1과 같이 스틸, 구리, 니켈, 알루미늄 등 금속을 제련하는 용광로 및 소각로와 같은 설비기기이며, 230℃ ~ 650℃ 사이의 중간 온도대의 배열을 방출하는 시스템은 표 2와 같이 스팀 보일러 및 터빈 엔진 등이 있다.

230℃ 이하의 배열을 방출하는 시스템은 표 3과 같이 응축시스템 및 압축기기 등이 있다.

<표 1> Typical waste heat temperature at high temperature range from various sources

Types of Devices	Temp. (°C)
Nickel refining furnace	1370 - 1650
Aluminium refining furnace	650 - 760
Zinc refining furnace	760 - 1100
Copper refining furnace	760 - 815
Steel heating furnace	925 - 1050
Copper reverberatory furnace	900 - 1100
Open hearth furnace	650 - 700
Cement kiln (Dry process)	620 - 730
Glass melting furnace	1000 - 1550
Hydrogen plants	650 - 1000
Solid waste incinerators	650 - 1000
Fume incinerators	650 - 1450

<표 2> Typical waste heat temperature at medium temperature range from various sources

Types of Devices	Temp. (°C)
Steam boiler exhaust	230 - 480
Gas turbine exhaust	370 - 540
Reciprocating engine exhaust	315 - 600
Reciprocating engine exhaust (turbo charged)	230 - 370
Heat treatment furnace	425 - 650
Drying & baking ovens	230 - 600
Catalytic crackers	425 - 650
Annealing furnace cooling systems	425 - 650

<표 3> Typical waste heat temperature at low temperature range from various sources

Types of Devices	Temp. (°C)
Process steam condensate	55 - 88
Cooling water from: Furnace doors	32 - 55
Bearings	32 - 88
Welding machines	32 - 88
Injection molding machines	32 - 88
Annealing furnaces	66 - 230
Forming dies	27 - 88
Air compressors	27 - 50
Pumps	27 - 88
Internal combustion engines	66 - 120
Air conditioning and refrigeration condensers	32 - 43
Liquid still condensers	32 - 88
Drying, baking and curing ovens	93 - 230
Hot processed liquids	32 - 232
Hot processed solids	93 - 232

배열회수장치의 종류

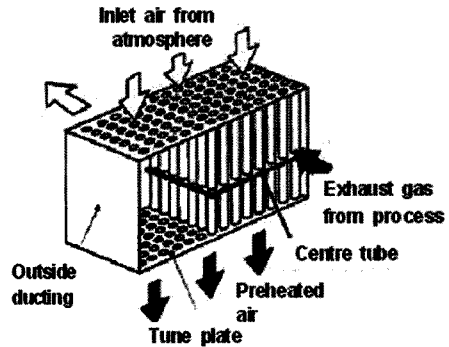
Recuperator

주요 산업설비별 배열의 배출규모는 각종 요로류, 건조설비, 보일러, 대형 공조시설 등의 순이다. 현재 국내외에서는 배열을 회수하기 위한 다양한 연구 및 노력이 이루어지고 있다.

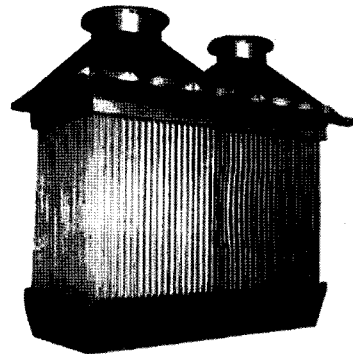
배열회수장치는 열원기에서 사용하는 연료 및 배기가스 배출 온도, 회수열의 사용처 등에 따라 열교환기의 형태를 달리 한다. 여기서 배열회수장치란 열교환기를 의미하며 유체의 열을 다른 유체로 전달하는 장치로 가열, 냉각 및 콘덴싱 등의 기능을 수행하는 설비를 지칭을 한다.

열교환기는 전열면의 형상과 배열, 재료와 구조에 따라 다양한 형태를 갖고 있다. 일반적으로 이중관형, 핀-튜브(Finned Tube)형, 셸&튜브형(Shell & Tube), 판형(Plate type), 셸&플레이트(Shell & Plate), 히트파이프 등으로 구분을 한다.

이와 같은 열교환기는 사용처에 따라 명칭을 달



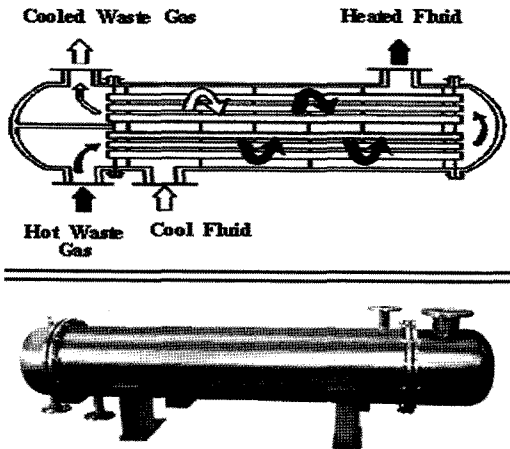
[그림 1] Waste heat recovery using recuperator, Source: SEAV



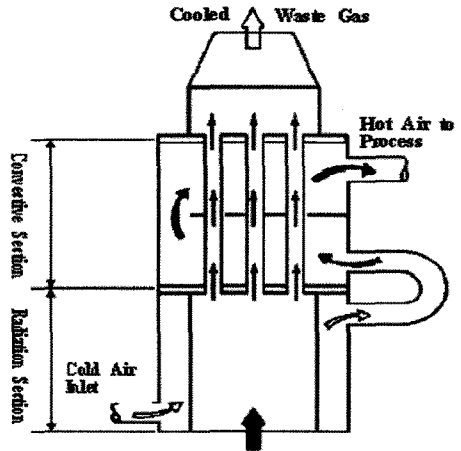
[그림 2] Channel type recuperator

리한다. 그림 1은 각종 공업로와 같은 고온의 배열을 회수하는 장치인 Recuperator이며, 노에서 배출되는 배기가스의 배열을 회수하여 연소용 공기를 예열하는데 사용이 된다.

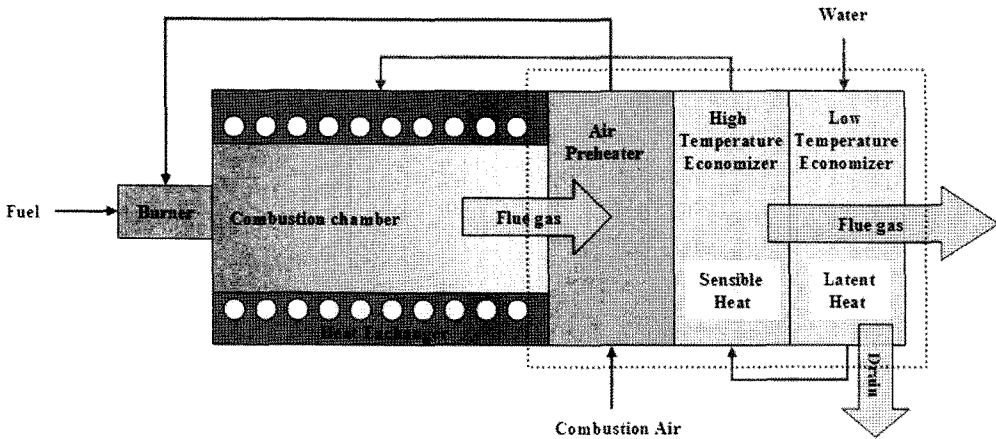
Recuperator는 배출가스조건, 설치장소, 용도에 따라 Channel Type, Radiation Type, Convective Tube Type의 세 종류로 크게 구분되어 진다. 이러한 Recuperator의 설치는 산업용로의 경우 20% 이상의 연료절감 효과를 나타낸다. 그림 2는 Channel type recuperator 사진이며, 튜브 표면에 분진이 쌓이는 분진(Dust)이 많이 포함된 배기가스에는 적합하지 않고, 철강예열로, 비철금속용광로, 단조로 등 열처리로에 적합하다.



[그림 3] Convective Recuperator



[그림 4] Radiation/Convective Hybrid recuperator



[그림 5] Heat recovery system for a boiler

Radiation Type의 Recuperator는 이중관형으로 가장 간단한 형태이며, 노의 크기가 작은 산업용에 사용이 된다.

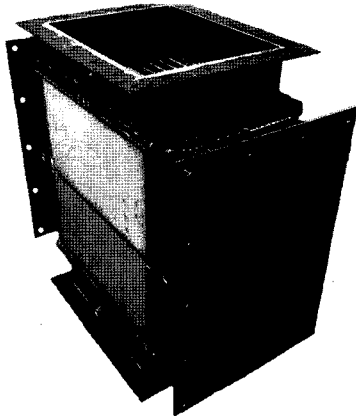
그림 3은 Convective Recuperator이며, 고온의 가스는 작은 관경의 관 사이를 병렬로 통과하고, 저온 유체는 셸(shell) 부분을 통과하게 된다. 저온 유체 부분에 버플(baffle)을 두어 열회수율을 높이기도 한다.

최근에는 고온부에는 Radiation type을 사용

하여 저항을 최소화하고 중온부에는 Convective type을 사용하여 열회수율을 높이는 복합 형태의 그림 4와 같은 Hybrid Recuperator도 사용되고 있다.

공기에열기/절탄기

공업로 다음으로 많은 배열을 배출하는 설비기기는 건조로 및 산업용 보일러 시스템이다. 그림 5는



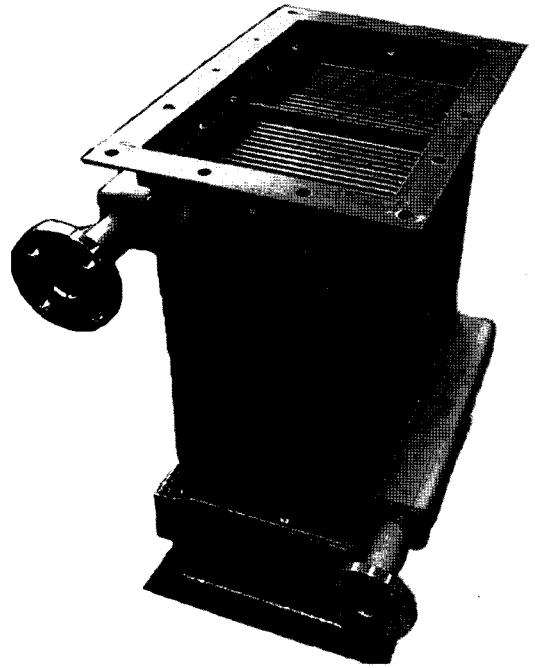
[그림 6] Air Pre-heater (Fully Welded Plate type, Source : JANGHAN)

고효율 보일러의 배열회수 시스템을 도식화한 그림이다. 고온의 배열을 회수하여 연소 공기를 예열하는 공기에열기(Air pre-heater)와 보일러수를 예열하거나 온수로 활용하는 절탄기(Economizer)로 구성이 된다. 고효율 산업용 보일러 시스템의 배열회수 장치는 배기가스 온도를 70℃ 이하로 낮춤으로써 보일러의 직접적인 효율 향상에 기여를 하며 발열량의 10% 이상을 절감하는 효과를 보여준다.

산업용 보일러는 형태에 따라 보일러 출구 온도가 상이하며 대형보일러(2 ton/hr 이상)에 많이 사용되는 노통연관 가스 보일러의 배기가스 온도는 250 ~ 300℃ 이며, 소형보일러(2 ton/hr 이하)에 많이 사용되는 관군연소 가스보일러의 경우 300 ~ 400℃ 에 이른다.

일반적으로 산업용 보일러의 공기에열기는 이중관식 열교환기 혹은 히트파이프형 열교환기를 보편적으로 사용하고 있다. 최근에는 그림 6과 같은 형태의 용접식 판형열교환기를 이용한 고효율 콤팩트 공기에열기도 사용되어지고 있다.

절탄기(Economizer)는 배기가스의 배열을 회수하여 급수 온도를 높이는 배열회수 열교환기이다. 고온의 배기가스는 저온의 급수보다 비열 및 열전달계수가 불리하기 때문에 급수측보다 배기가스측 열전달 성능이 열교환기의 전열성능을 좌우한



[그림 7] Economizer (Fully Welded Plate type, Source : JANGHAN)

다. 고효율 보일러 시스템의 효율 향상을 위하여 응축형 저온 절탄기를 추가적으로 설치하여 배기가스에 포함된 수분이 응축이 되는 온도까지 배기가스의 온도를 낮춘다. 이와 같은 고효율 배열회수 시스템은 절탄기의 현열 회수 구간과 잠열 회수 구간을 분리하여 설치가 되어 진다. 절탄기는 핀-튜브(Finned Tube) 형태의 열교환기가 보편적으로 사용이 되고 있으며, 일정한 설치 공간에서 열회수율을 높이기 위하여 그림 7과 같은 콤팩트한 용접식 판형열교환기를 사용하기도 한다.

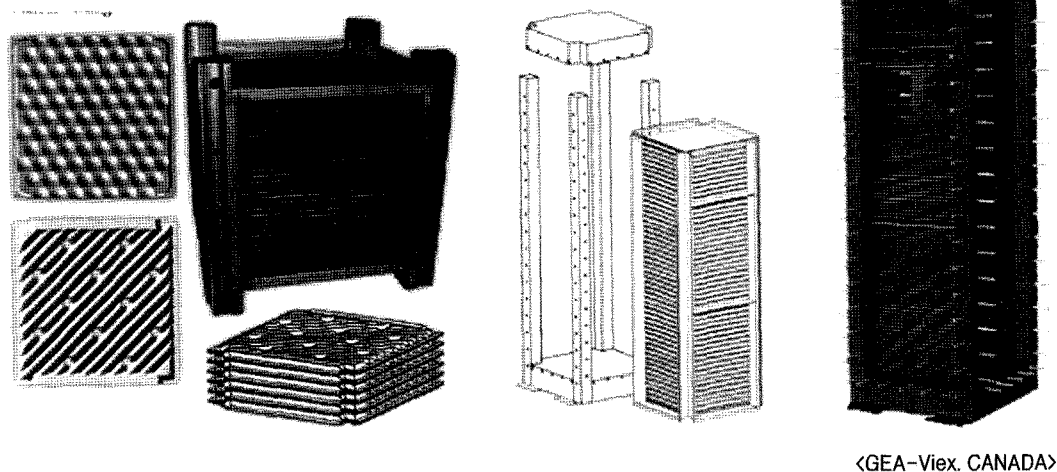
배열을 회수하는 열교환기는 열교환 능력 뿐만 아니라 불순물(Scale)을 쉽게 제거할 수 있도록 분해 조립이 가능한 형태를 가져야 한다. 열판이 분리되거나, 열교환기 전열부(Core)와 보강부(Shell)가 분리가 되어 청소가 가능하여야 한다. 그림 8은 분해조립이 가능한 볼트 체결 타입의 판형열교환기이며, 압력이 낮은 기체/기체 열교환기에 많이 응용이 되고 있다.



기타 배열회수 장치

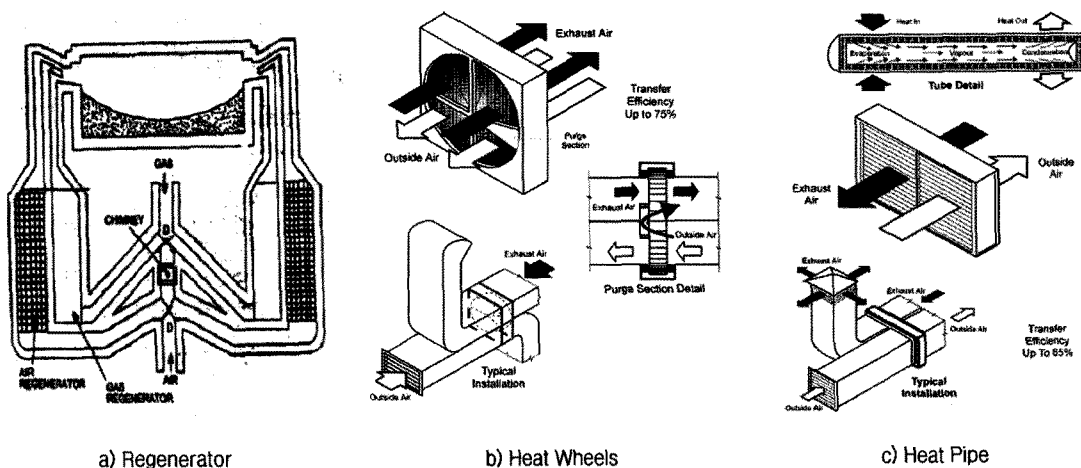
다른 열원설비기기의 배열을 회수하는 장치로 재생 열교환기(Regenerator)가 있으며 터빈 배기 온도를 이용하여 연소기에 유입되는 공기온도를 상승시켜 전체 열효율을 증가시키는 역할을 한다. 타 동력 기관에 비하여 상대적으로 열효율이 낮은 가

스터빈의 경우 제품 경쟁력 확보를 위한 열효율 상승을 위해서는 재생 열교환기의 적용이 필수적으로 요구된다. 가스터빈에 열전달 효율성(Effectiveness)이 높은 재생 열교환기를 장착 시켰을 경우 상당한 수준의 열효율 상승효과를 가져올 수 있으며, 앞서 기술한 고온 세라믹 부품과 함께 사용할 경우 타 동력 기관과 비교하여 충분히 경쟁력이 있



<GEA-Viex, CANADA>

[그림 8] Gas to Air - Plate heat exchanger



a) Regenerator

b) Heat Wheels

c) Heat Pipe

[그림 9] Heat Exchangers of Waste Heat Recovery

는 효율을 낼 수 있다. 특히 마이크로 터빈의 경우 엔진 내부에서 효율 상승을 위한 설계 개선의 여지가 거의 없기 때문에 재생 열교환기의 중요성은 더욱 부각될 수밖에 없다.

마이크로 터빈의 경우에는 재생 열교환기의 크기가 엔진 크기와 비슷한 규모가 되기 때문에 단위 부피당 비출력이 우수한 마이크로 터빈 자체의 장점이 부각되지 못하는 문제를 발생하게 된다. 따라서 마이크로 터빈에서의 재생 열교환기 개발에 있어서 가장 시급히 해결해야 할 부분은 Compactness와 관련된 사안이다. 그림 9a)는 가스터빈의 재생 열교환기를 나타내고 있다.

그림 9b), 9c)는 공조용으로 널리 사용되고 있는 Heat Wheels과 Heat Pipe를 도식화한 그림이다. 전열열교환기라 불리는 공조용 배열회수 장치는 낮은 온도에 해당하는 배기공기의 열을 회수하는 장치로 냉/난방 공조 시스템의 에너지 절감을 위하여 사용되어지고 있다.

결론

산업용 설비 및 열원기기의 배기가스는 지구의 온난화를 가속화하 시키고 있다. 많은 전문가들은 기존 시설에서 외부로 배출되는 배기가스의 열을 회수하는 것만으로도 탄소배출량의 30% 이상을 감축할 수 있다고 전망하고 있다. 우리나라가 녹색 성장을 주도하기 위해서는 '기존 열원 설비 및 기기의 아웃그리닝(Outgreening, 남보다 녹색성장에서 앞서나가 경쟁력을 확보한다는 것을 의미)'이 필요한 시점이다. 이를 위해서는 에너지 절감효과에 대한 정확한 경제성 분석과 더불어 효율적인 에너지 진단을 통한 배열회수 장치의 설계가 이뤄져야 할 것이라고 생각한다. ●