

티밍래들에 폐열회수버너의 적용

양제복, 정대현, 김원배
에너지효율연구부,
한국에너지기술연구소

A study on the application of recuperative burner system to a teeming ladle

Jae-Bok Yang Dae-Hun Chung, Won-Bae Kim,
Energy Efficiency Research Department
Korea Institute of Energy Research

Abstract

One of the conventional gas burners has nowadays been used for ladle preheating. As a ladle is one of the open-type furnaces, however, it causes to consume much fuel because of high temperature of exhaust gas from the ladle and the exhaust gas passing through ladle cover makes it worsen a working environment nearby. Therefore, the objective of this study is to develop the recuperative burner system applying for an existing teeming ladle, which is integrated with burner, recuperator and eductor as one of the new type combustion equipments and has many advantages of simple installation, compactness and easy control, especially a great deal of energy saving through the waste heat recovery from exhaust gas.

The contents of the study is to design, manufacture of recuperative burner system and to perform its tests experimentally after applying to the teeming ladle in the capacity of 100 ton. Its heat release rate is 1,700,000 kcal/h with COG(Cokes Oven Gas) as fuel gas. The test items are the temperature distribution inside the ladle and the preheated air temperature change depending upon the exhaust gas, NOx, exhaust gas analysis and noise.

Keywords: ladle, recuperative burner system, eductor, temperature distribution, NOx, exhaust gas analysis, noise

1. 서론

제철소에서 용융 철강을 연속주조공장으로 운반하기 위하여 래들을 이용하는데 그 때에는 래들의 내부를 래들의 내화물 등의 파손을 막기 위하여 철강의 용융 온도까지 승온시키는 것이 필요하다. 지금까지는 이 목적으로 기존의 가스버너나 오일버너를 사용하여 왔다. 그러나 이 버너들은 래들의 승온시에 적용할 경우 연소 배가스의 출구가 버너의 토출구로 나가야하므로 배가스로 인한 환경배출물의 처리나 소음 그리고 무엇보다도 연료의 소모가 많은 것이 큰 단점으로 지적되어 왔다. 따라서 본 원고에서는 이런 단점을 보완한 버너인 폐열회수버너(recuperative burner)를 티밍래들에 적용하였으며 대상은 포항제철소의 제강부에 있는 100톤급 티밍래들로 선정하여 개발된 버너의 성능을 실험적으로 알아보았다.

폐열회수버너는 기존버너와는 달리 버너, 레큐퍼레이타 그리고 에덕터가 합 몸체로 구성된 연소기기로 구조가 콤팩트하며 제어가 용이하고 무엇보다도 설치가 간편한 것이 특징으로 되어있다. 기술적인 특징으로는 열교환기인 레큐퍼레이타가 한 몸체에 부착되어있어 배가스로부터의 폐열회수능력이 탁월해 에너지절약이 큰 것이다.

2. Design characteristics of recuperative burner system developed

[그림 1]에 나타낸 바와 같이 래들 예열용으로 개발한 폐열회수버너는 3 가지의 설계특성을 지니고 있는데 그 중 하나는 가스노즐에 대한 것이고 둘째는 폐열회수를 위한 이중원통형 복사형 레큐퍼레이타 그리고 셋째는 래들내 압력제어용 에덕터이다.

개발한 폐열회수버너시스템의 제원과 기술적 특성은 다음과 같다.

- 용량: max. 1,700,000 kcal/h
- 연료가스: COG(CO₂ 3.1%(vol.%), O₂ 0.3%, C_mH_n 2.9%, CO 8.4%, CH₄ 26.6%, H₂ 56%, N₂ 2.3%, H_u= 4,400 kcal/Nm³)
- 가스노즐부: 8 fingers-type gas nozzle and stabilizer in ring-type plate
- 레큐퍼레이타: annular radiative recuperator
- 에덕터: air induced type

가스 노즐부와 이중원통형 복사형 레큐퍼레이타는 내열강으로, 나머지 다른 부

위는 일반강으로 설계, 제작하였다. 버너 타일부는 내열 캐스타블로 주형을 만들어 제작하였다.

[그림 2]에는 손가락같이 생긴 8개의 원형파이프를 용접한 메인 가스파이프를 가스노즐을 나타내고있으며 여기서 연료가스가 원주방향으로 분출된다. 이 때 연소용 공기는 축방향으로 흘러 들어와 연료가스와 재순환원리에 의해 화염보연기 후류에서 혼합된다. 연료가스와 연소용 공기의 분출속도는 각각 20m/s and 15m/s로 설계하였다. 화염의 안정성을 위하여 가스노즐 후위에 원형모양 링 형태의 철판을 용접하여 화염안정기로 설계하였으며 이것은 화염안정시의 bluff body 원리를 이용한 것이다.

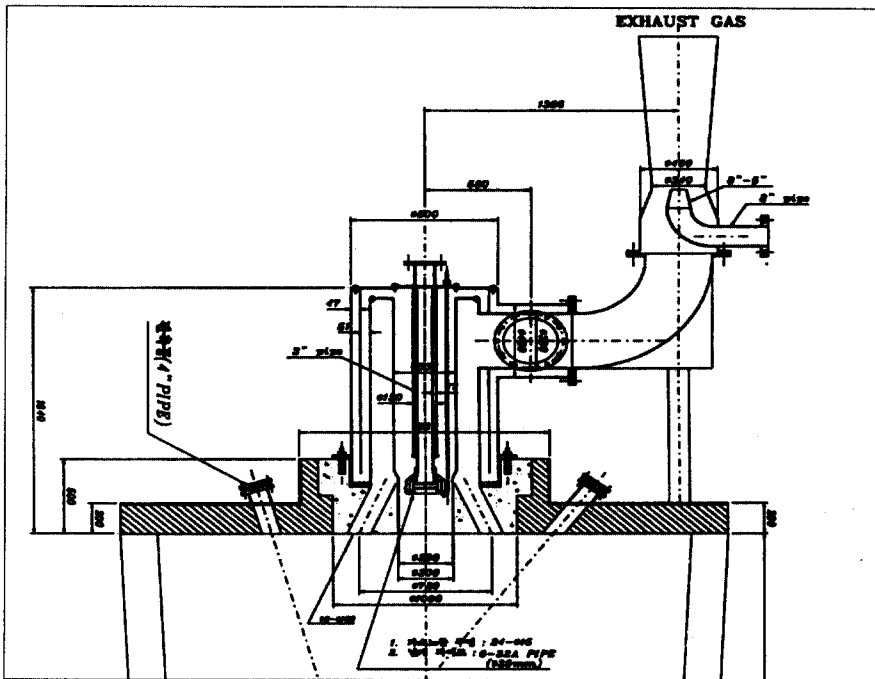


Fig.1 Assembly of recuperative burner system

가스노즐의 설치 위치는 선행 실험을 통하여 도출된 결과로 버너타일의 선단으로부터 버너토출구경 만큼 뒤로 떨어진 거리에 결정하였다. 이것은 폐열회수버

너의 단점인 "short path"를 방지하기 위한 것으로 매우 중요한 설계인자라고 볼 수 있다. 이외에 로내의 열전달을 보다 효율적으로 향상시키고 로내의 온도분포를 균일하게 유지하기 위하여 배가스출구를 10 개의 구멍을 설치하였으며 특히 축방향과 30° 가 유지하도록 설계, 제작하였다.

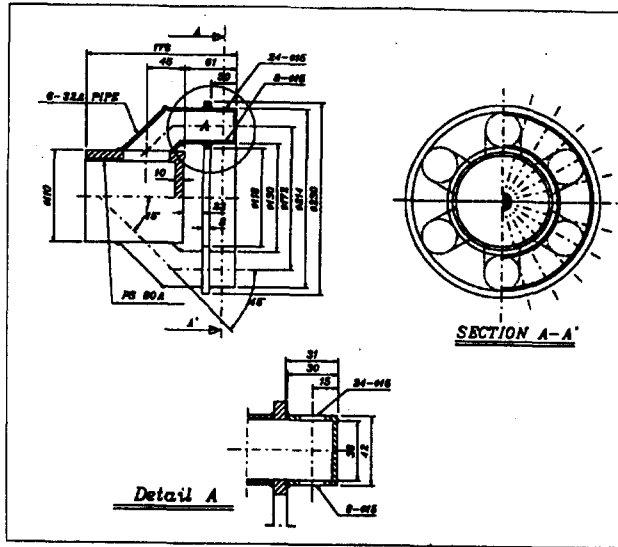


Fig.2 Details of gas nozzle

폐열회수중 가장 효율적인 방법은 공업로인 경우는 연소용공기를 예열하는 것이라고 알려져 있다. 여기서는 이 방법중의 하나로 이중원통형 복사형 레큐퍼레이타로 결정하였으며 설계치수는 수치해석을 통하여 계산한 결과를 통하여 결정하였으며 [표 1]에 나타내었다.

Table 1 Design data of recuperator

combustion air	flow rate (Nm ³ /h)	2,000
	outlet temp. (°C)	400°C
	pressure drop (mmAq)	under 300
exhaust gas	flow rate (Nm ³ /h)	2,400
	inlet temp. (°C)	850
	pressure drop (mmAq)	under 5
heat transfer rate (kcal/h)		240,000
target of temperature efficiency		80 %

에덕터는 래들내에서의 압력을 제어하여 공연비를 최적으로 유지하기 위하여 설계되어야 하는데 여기서는 공기유인형을 채용하였으며 분출공기속도는 70m/s, 노즐의 확대각도는 압력손실을 최소화하기 위하여 약 4° 로 설계하였다.

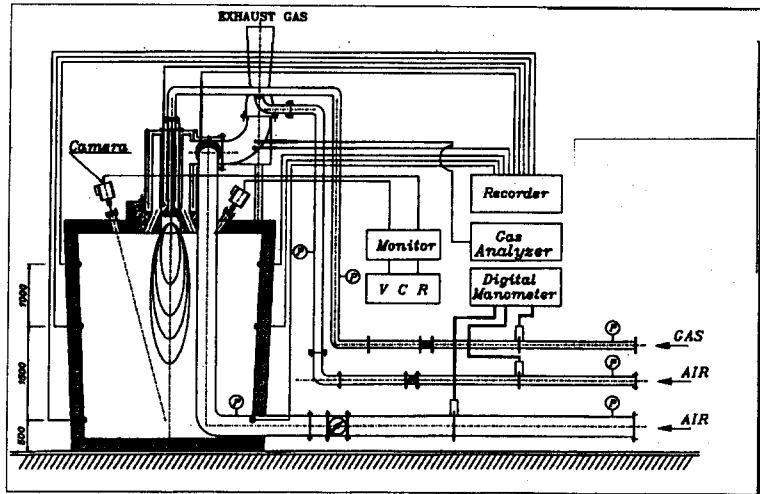
3. 실험방법

래들에 적용한 폐열회수버너의 성능은 기존버너의 대체에 의한 에너지절약율과 작업현장에의 환경유해의 감소에 달렸다고 볼 수 있다. 실험항목으로는 래들내의 온도분포와 함께 나타나는 승온속도, 배가스에 따른 예열공기온도의 변화, NO_x, 배가스분석 그리고 소음 등을 들 수 있다.

이 개발한 폐열회수버너의 성능을 알아보기 위하여 포항제철소의 100톤급 기존 티밍래들(직경 3,300mm, 높이 3,500mm)을 직접 이용하였다. [그림 3]에는 폐열회수버너, 티밍래들 그리고 측정시스템의 구성도를 나타내고 있다.

Fig.3
Experimental
set-up

연소용
공기와
연료가
스의
유량은
차압원



리를 이용한 오리피스를 적용하였다. 래들내의 온도장을 알아보기 위하여 래들내 상부, 가운데 그리고 하부에 각각 4개씩 12개의 k-타입 열전대를 삽입하여 온도를 측정하였다. 래들내 압력은 래들커버의 구멍을 통하여 디지털압력계로 측정하였다. 그리고 래들내의 연소상태, 즉 소염상태, 화염 색깔 및 래들벽의 색깔 등은 래들커버에 설치한 비디오카메라를 통하여 살펴보았다. 이 적용버너의 연소특성을 알아보기 위하여 가스분석기를 통하여 배가스분석을 실시하였으며 특히, 산소와 일산화탄소는 paramagnetic 식, NOx는 화학발광식인 방법을 이용하였다.

4. 성능결과와 분석

(1) 승온속도

이것은 여러 가지 성능 시험 중에서 가장 중요한 사항이다. 왜냐하면 래들내의 내화물온도를 용융강 온도, 즉 1,200℃까지 얼마나 빨리 올리느냐가 주요한 관건이기 때문이며 이것이 특히 에너지소비율과 직결되기 때문이다.

[그림 4]에는 래들을 건조한 후 처음으로 운전하는 경우(cold state)와 연속적으로 래들을 사용하는 경우(preheated state)에서의 온도장, 즉 래들내부, 배가스, 예열공기 등을 측정한 결과를 나타내고 있다. 버너용량을 1,700,000 kcal/h 그리

고 cold state인 경우에는 래들내부 온도가 1,200℃에 도달될 때까지는 약 240분이 소요되었으며 그 때의 배가스 온도와 예열공기 온도는 각각 약 1,000℃ and 500℃이었다. 온도가 가장 높은 곳은 래들의 밑바닥 이였고 가장 낮은 곳은 래들 상부였다. preheated state인 경우에는 승온경향은 cold state와 유사했지만 미리 예열된 상태이어서 승온속도는 90분이나 빠른 약 150분정도 걸렸다. 버너용량을 1,400,000 kcal/h으로 줄인 경우 승온시간이 약간 길어졌을 뿐 승온 경향은 앞에서와 큰 차이를 보이지 않았다.

기존버너와 개발된 폐열회수버너를 적용하였을 경우 승온시간과 온도분포면에서 비교를 [그림 5]에 나타내었다. 그림에서 보듯이 기존버너를 사용하였을 경우 래들내부를 1,200℃까지 승온시키는데 약 72시간이 소요되었으며 특히 온도분포에서는 래들상부가 래들하부보다 높게 나타났다. 이것은 화염이 기존버너인 경우 비교적 짧고 연소화염의 모멘트가 적어 화염이 래들하부까지 미치지 못한 것으로 사료되며 특히 개발된 폐열회수버너의 특성과는 아주 대조적인 반대경향을 나타내었다. 기존 버너중에서 화염이 약간 긴 long flame burner를 사용한 경우도 기존버너보다는 28시간이 짧은 44시간이 걸렸다. 따라서 기존버너와의 에너지소비율은 비교가 되지 않으며 기존에 비하여 에너지소비는 약 5%에 지나지 않음을 알 수 있다.

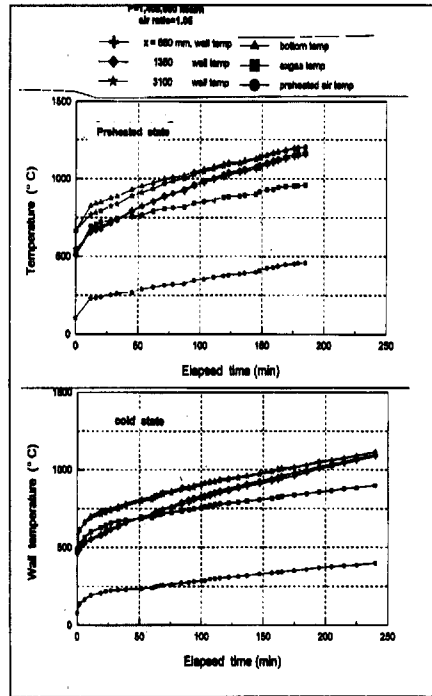
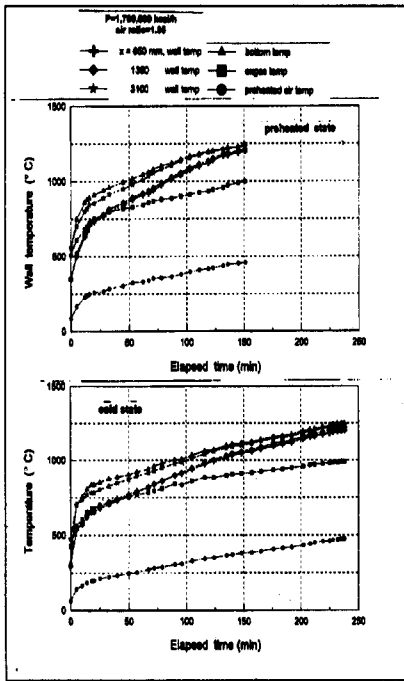


Fig. 4 Temperature distribution of recuperative burner system in ladle

(2) 배가스 분석

폐열회수 버너의 연소특성, 즉 혼합특성 및 연소효율을 알아보기 위하여 배가스 내의 CO를 산소농도와 함께 측정하여야 한다. 대체적으로 버너의 연소효율은 CO가 100ppm이하일 경우가 산업체에 적용 가능하다고 판단하는 기준이며 그 이상일 경우에는 위험하다고 본다. [그림 6]에서 보듯이 버너용량을 1,400,000 kcal/h and 1,700,000 kcal/h으로 한 경우 배가스분석 결과는 큰 차이는 보이지 않았다. 더구나 이 개발된 버너는 공기비가 거의 이론공기비인 1.05 일때도 연소가 가능함을 보여주어 매우 양호한 버너라는 알 수가 있다.

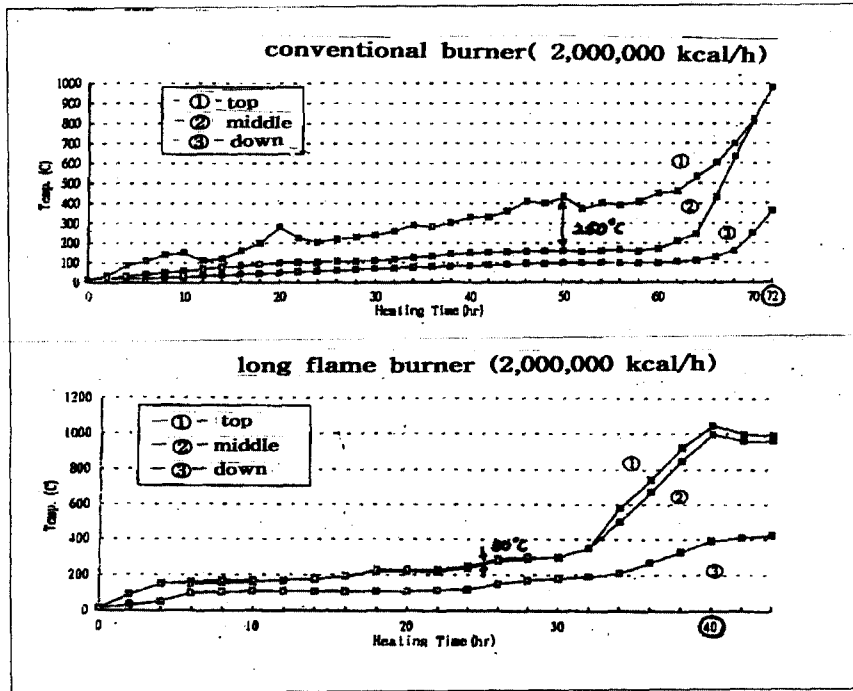


Fig. 5 Heating curve with conventional burner inclusive long flame burner

(3) NOx

예열공기 온도의 변화에 따른 NOx값을 [그림 7]에 나타내었다. 배가스내의 잔류 산소 11%를 기준으로 환산한 값을 나타낸 것으로 예열공기 온도가 높으면 높을 수록 NOx값은 높게 나타났다. 버너용량 1,700,000 kcal/h 인 경우 예열공기온도 500°C일 때 130ppm으로 나타났는데 이것은 일본의 규제치 180ppm보다 적은 값이다. 이것은 래들내에서 양호한 혼합특성으로 온도장이 균일하게 유지되어 국부적인 최고온도치가 줄어들은 것으로 풀이할 수 있다.

(4) 소음도

작업장에서의 소음은 환경 유해요소로 분류되며 소음원에서 주위로 1 - 3 m 떨

어진 곳에서의 측정치가 80 - 90 dB 이하여야 한다는 규제치가 있다. [그림 8]에는 preheated & cold state에서 소음치를 나타낸 것으로 측정값이 70 - 80dB에 달하여 매우 만족스러운 결과를 나타내었다. 예열된 상태에서의 소음치가 냉각상태의 값보다는 높게 나타났는데 이것은 연소과정중에서의 화학반응에 인한 것으로 생각된다. 소음치는 버너의 열용량 및 예열공기온도와는 거의 무관한 것으로 나타났다.

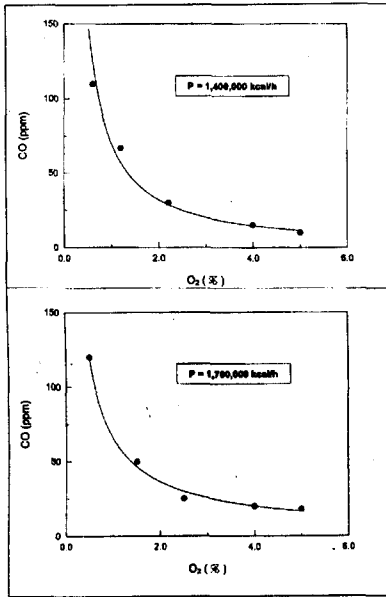


Fig 6. Exhaust gas analysis

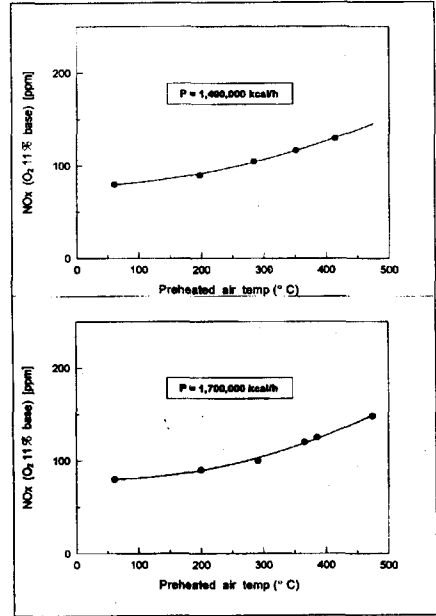


Fig. 7 NOx

(5) 온도효율

열교환기의 성능은 온도효율로서 나타낸다. 1,700,000 kcal/h and 1,100°C 배가스온도인 경우의 온도효율은 [그림 9]에 나타난 것과 마찬가지로 약 50%에 달하였다. 이것은 매우 높은 수치로서, 특히 폐열회수버너 시스템의 가장 큰 장점이라고 말할 수 있다.

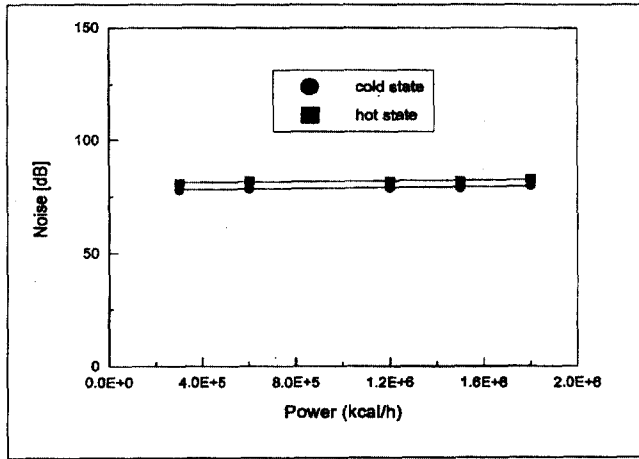


Fig. 8 Noise

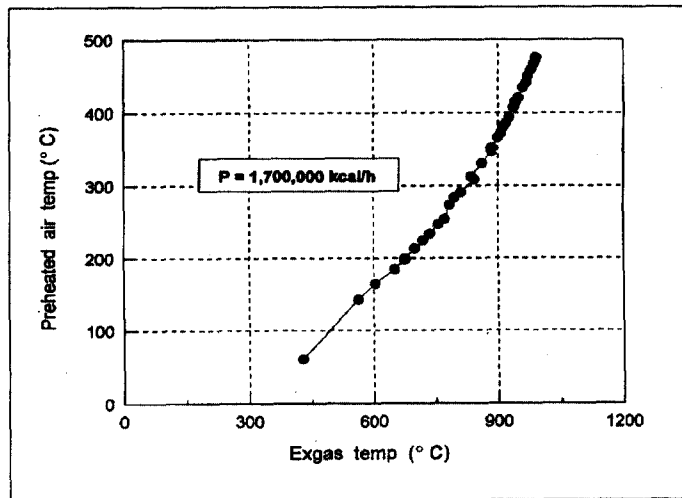


Fig 9 Temperature efficiency

(6) 연료절약율

As shown in Fig. 10, energy saving rate with recuperative system is amounted to about 21% based on the preheated air temperature of 470°C,

when exhaust gas temperature has 1,000°C.

[그림 10]에서 보듯이 버너용량 1,700,000 kcal/h 인 경우 배가스온도가 1,000°C 이면 예열공기온도가 470°C에 달하여 약 21%의 연료절약율을 나타내었다.

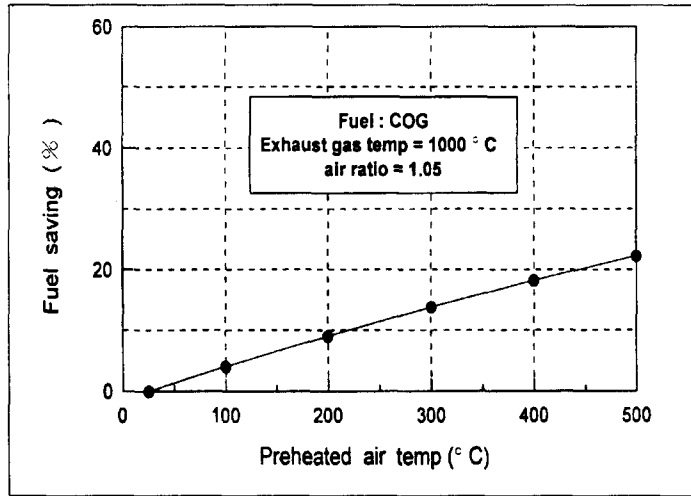


Fig. 10 Energy saving rate

6. 결론

폐열회수 버너시스템을 개발하여 제철소의 티밍래들에 적용하여 성능실험한 결과를 아래에 나타낸 것으로 과제는 1년간 수행하였다.

- (1) 1,700,000kcal/h 용량의 폐열회수버너 시스템을 국산화하여 래들에 적용하였는데 독특한 모델로 외양이나 성능실험의 결과도 외국산에 비해 손색이 없어 매우 훌륭하였다. 특히 500°C의 예열공기를 사용하였기 때문에 래들에열하는데도 3 - 시간밖에 걸리지 않았으며 따라서 연료절약율도 약 20%에 달하였다.
- (2) 버너 자체의 연소성능도 공기비 1.05일 때 CO도 약 60ppm이었으며 예열공기온도 500°C일 때 NOx값도 130ppm에 달하여 매우 양호하였다.
- (3) 개발한 폐열회수 버너는 급속예열용으로 어떠한 래들에도 적용이 가능하며 다른 공업로에도 이 기술의 보급확산이 이뤄질 것으로 생각한다.

References

1. w.b.Kim et al, "A study on the development of recuperative burner system", KIER report, 1990
2. K. Nagil and I. Ikeda, "Performance of Self-Recuperative in Actual Furnace", Japanese Flame Days, 1987.
3. A. Tabata, K. Hosoi and Y. Tanaka, "Development of Combustion System for Energy Saving(V)-Development of Recuperative Burner", technical report of Tokyo Gas Company, 1983, pp. 183-190.
4. E.E. Khalil, "Modeling of Furnaces and Combustors", Abacus Press, Hampshire, 1982.