

## 산소부화용 공업로의 운전조건이 열효율에 미치는 영향

김강민 · 이연경 · 안석기 · 김규보\* · 유인\*\* · 전충환<sup>†</sup>

부산대학교 기계공학부, \*부산대학교 화력발전에너지분석기술센터, \*\*(주)컴버스텍  
(2015년 5월 12일 접수, 2015년 8월 24일 수정, 2015년 8월 28일 채택)

## A Numerical Study on the Efficiency of an Industrial Furnace for Oxygen Combustion Conditions

Kang-Min Kim, Yeon-Kyung Lee, Seok-Gi Ahn, Gyu-Bo Kim\*, In Yoo\*\* and Chung-Hwan Jeon<sup>†</sup>

School of Mechanical Engineering, Pusan National University,

\*Pusan Clean Coal Center, Pusan National University

\*\*Combustech

(Received 12 May 2015, Revised 24 August 2015, Accepted 28 August 2015)

### 요 약

가열용 공업로는 설치 후에는 기본적인 로의 크기 및 열용량의 수정이 어려우므로 설계, 제작 설치 전 정확한 기본사양의 산출을 위한 통합적 설계 프로그램의 개발이 필요하다. 설계를 위한 프로그램을 개발하기에 앞서, 본 연구에서는 만족할 수 있는 연속식 가열로의 효율을 결정하기 위하여 로의 기본 사양에 의한 각 부의 손실열량을 계산하는 산술적 모듈을 제작하여 산소용 공업로에 적용하였다. 이를 통해 로의 설계 조건인 사용 연료 종류, 연소 방식, 배기가스 재순환 유무에 따라 생산량이 110Ton/hour인 공업로의 효율 변화를 확인하였다. 순 산소 연소 조건에서는 공기 연소 조건보다 효율이 15% 이상 높아진 것을 확인하였다. COG(Coke Oven Gas)를 사용하였을 시, 천연가스를 연료로 할 때보다 상대적으로 효율이 상대적으로 높아졌다. 공기 연소에서는 예열 공기를 사용하였을 시 냉 공기보다 효율이 33% 정도 증가하였으나, 순 산소 조건에서는 배기가스 양이 감소하여 효율이 7% 상승하였다.

**주요어** : 공업로, 효율, 순산소, 열평형, 코크스가스, 액화천연가스

**Abstract** - After a reheating furnace installation, the modification of the size and the heat capacity is very difficult. Therefore, the development of design package tool is required for the computation on the correct specifications before the design and the installation. Prior to development of the design tool, a module that calculates the amount of heat loss of each part according to the specifications for determining the thermal efficiency of a continuous heating furnace was developed and applied to the oxy-fuel industrial furnace. Through this, the effects of fuel type, oxygen fraction and recirculation on the efficiency of the furnace of which the output is 110Ton/hour were analyzed. In oxy-fuel combustion condition, the efficiency was 15% higher than air combustion conditions. With the using COG(Coke Oven Gas) instead of LNG, the efficiency was slightly increased. In the air combustion condition, the efficiency was increased about 33% with the preheated air. But, in oxy-fuel condition, the amount of exhaust gas was reduced, so the efficiency was increased about 7%.

**Key words** : Industrial furnace, Efficiency, Oxy-Fuel, Heat balance, COG(Coke Oven Gas), LNG(Liquified Natural Gas)

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Energy Conversion System Lab. School of Mechanical Engineering, Pusan National University Gijeingwan 30 San Jangjeon-dong, Geumjeong-Ku, Busan, 607-735, Korea  
Tel : 051-510-3051 E-mail : chjeon@pusan.ac.kr

기호설명

- $c_p$  : 비열 [kcal/kgK]
- $k_{wall}$  : 로벽 열전도율 [kcal/mh<sup>°C</sup>]
- $k_p$  : 파이프 열전도율 [kcal/mh<sup>°C</sup>]
- $k_{r1}$  : 1층 단열재 열전도율 [kcal/mh<sup>°C</sup>]
- $k_{r2}$  : 2층 단열재 열전도율 [kcal/mh<sup>°C</sup>]
- $m$  : 질량 [kg]
- $t$  : 공정 시간 [h]
- $v_w$  : 냉각수 유속 [m/s]
- $A$  : 면적 [m<sup>2</sup>]
- $D_{p,i}$  : 파이프 내경 [m]
- $D_{p,o}$  : 파이프 외경 [m]
- $D_{r1,o}$  : 1층 단열재 외경 [m]
- $D_{r2,o}$  : 2층 단열재 외경 [m]
- $H_{flue}$  : 배기가스 엔탈피 [kcal/Nm<sup>3</sup>]
- $H_{re}$  : 재가열가스 엔탈피 [kcal/Nm<sup>3</sup>]
- $HHV$  : 연료 고위 발열량 [kcal/Nm<sup>3</sup>]
- $Q$  : 열량 [kcal/h]
- $Q'$  : 단위길이 당 열량 [kcal/mh]
- $Q_1'$  : 파이프 내표면에서 냉각수로의 단위두께 당 열 전달량 [kcal/mh]
- $Q_2'$  : 단열재 외표면에서 파이프 내표면으로의 단위 두께 당 열전도량 [kcal/mh]
- $Q_3'$  : 로벽에서 단열재 외표면으로의 단위두께 당 열 복사량 [kcal/mh]
- $R_{\frac{flue}{fuel}}$  : 배기가스/연료 주입 비
- $R_{\frac{re}{fuel}}$  : 재가열가스/연료 주입 비
- $T_i$  : 초기 온도 [K]
- $T_f$  : 최종 온도 [K]
- $T_a$  : 외부 온도 [K]
- $T_w$  : 냉각수 온도 [K]
- $T_{p,i}$  : 파이프 내표면 온도 [K]
- $T_{p,o}$  : 파이프 외표면 온도 [K]
- $T_{r1,o}$  : 1층 단열재 외표면 온도 [K]
- $T_{r2,o}$  : 2층 단열재 외표면 온도 [K]
- $T_{fw}$  : 로벽 온도 [K]
- $\sigma$  : 슈테판-볼츠만 상수 [kcal/m<sup>2</sup>hK<sup>4</sup>]
- $\epsilon$  : 복사율

1. 서론

철강분야의 압연, 단조 공정에 앞서 반제품의 재 가열을 위하여 가열로가 사용된다. 소재는 상온~800<sup>°C</sup>의 온도로 장입되고, 가열로 내 연소과정에서 발생하는 열에 의해 1,150~1,250<sup>°C</sup>로 가열된 후 추출된다. 추출된 소재는 압연 및 단조 공정 등의 후처리 과정을 거쳐 제품으로 생산된다.

압연 공정에서는 Walking Beam, Pusher, Walking Hearth 형식의 연속식 가열로가 사용되며, 단조공정에서는 Batch, Car Bottom 형식의 단속식 가열로가 사용된다.[1]

가열로는 국가 에너지의 약 10.9%를 사용하는 에너지 소모가 큰 설비이므로 연료비용의 부담이 커서 에너지 절감을 위한 방안이 중요하다. 또한 가열로는 50~300억원/로 규모의 고비용이 투자되는 설비로써 설치 후에는 기본적인 로의 크기 및 열용량 등의 수정이 매우 어렵다. 현재 사용 중인 가열로의 최종 품질과 생산비용이 증가되는 문제가 발생되면 원인 파악과 이러한 문제의 해결 방안을 도출 및 평가하는 것이 일부 연소전문가들의 측정과 분석평가에 의존하다 보니 실질적으로 매우 어려운 상황이다.

따라서 상세 설계, 제작 설치 전 정확한 기본사양의 산출 및 현 사용 중인 가열로의 예상 문제들의 도출 및 평가를 위한 정확한 계산 프로그램이 필요하다.

연속식 가열로는 생산조건(생산량, 소재장입온도, 추출온도, 소재강종, 크기, 사용연료, 연소방식, 내화물구성, Skid 냉각을 포함한 각종 냉각 및 구성 장치)의 변화에 따라 로내 온도 분포, 소재의 최종 온도 분포, 가열로 길이, 연료 소모량, 각 부의 손실열량이 변동된다. 따라서 이러한 요소들이 서로 미치는 영향을 비교, 분석하여 정확한 기본 사양과 결과의 산출이 매우 중요하다. 이러한 계산 결과는 생산 품질, 생산 제품의 비용 및 투자비, 유지보수 등을 고려하여 평가되며, 이러한 평가 기준 및 설계 조건은 생산자로부터 제시된다.

가열로는 많은 양의 CO<sub>2</sub>를 배출하는데, 순 산소 연소 시 높은 에너지 절감효과와 함께 CO<sub>2</sub> 발생은 약 20%, 전체 배기가스 발생은 약 80% 이상 감소한다. 또한 CO<sub>2</sub> 배출을 줄이기 위한 기술인 CCS(carbon capture and storage)의 경우 공기 연소 과정에서는 NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>로 인해 CO<sub>2</sub> 포획이 어려운데 산소 부화 또는 순 산소 연소를 적용함으로써 해결할 수 있다.[2-6]

본 연구에서는 프로그램의 제작에 앞서 생산조건에

따른 각 부의 손실열량과 연속식 가열로의 효율을 도출하기 위해 열평형 모델을 적용한 하위 모듈을 제작하였고, 에너지 절감을 위한 산소용 공업로에 적용하여 기존 공업로의 효율과 비교하였다.

## 2. 이론적 모델

연속식 가열로의 각 부의 열량 손실을 계산하고 효율을 구하는 열평형 모델을 제작하기 위해 아래 식 (1)~(4)와 같이 열평형 식을 적용하였다.

$$Q_{steel} + Q_{loss} = Q_{fuel} - Q_{flue} + Q_{re} \quad (1)$$

$$Q_{loss} = Q_{skid} + Q_{wall} + Q_{open} \quad (2)$$

$$Q_{flue} = \frac{Q_{fuel}}{HHV} * R_{flue} * H_{flue} \quad (3)$$

$$Q_{re} = \frac{Q_{fuel}}{HHV} * R_{re} * H_{re} \quad (4)$$

식 (1)과 같이 소재에 전달되는 열( $Q_{steel}$ )과 손실되는 열( $Q_{loss}$ )의 합은 연소로 발생하는 열( $Q_{fuel}$ )과 배기 손실( $Q_{flue}$ ) 중 재사용 가능한 열량( $Q_{re}$ )의 합으로 표현할 수 있다. 손실되는 열인  $Q_{loss}$ 는 배기 손실을 제외한 공업로의 재질, 재료 및 냉각 등 모든 손실의 합으로 표현하여 식 (2)에 나타내었다.

식 (3)과 (4)를 이용하여 우변의 항을 각각 연소열에 관한 식으로 표현할 수 있으므로 소재에 전달되는 열과 각 부의 손실 열을 계산하면 공급해야 하는 연료 열량, 배기가스 손실, 재사용 가능한 배기 열을 구할 수 있다.

배기손실을 제외한 열손실( $Q_{loss}$ )를 구성하는 항목은 크게 3가지로 구분할 수 있는데 skid 파이프에서의 냉각수에 의한 열손실( $Q_{skid}$ )과 노 벽면으로의 열손실( $Q_{wall}$ ), 그리고 장입/추출 개구 열손실( $Q_{open}$ )로 나타낼 수 있다. 소재에 전달되는 열량과 세 가지 손실은 다음의 식 (5)~(8)과 같이 열전달 관계식으로 간략하게 표현할 수 있다.

$$Q_{steel} = m_{steel} c_{p,steel} \frac{T_f - T_i}{t} \quad (5)$$

$$Q_{skid} = m_{skid} c_{p,skid} \frac{T_f - T_i}{t} \quad (6)$$

$$Q_{wall} = k_{wall} A_{wall} \frac{T_{fw} - T_a}{l} \quad (7)$$

$$Q_{open} = \sigma \epsilon A_{open} (T_{fw}^4 - T_a^4) \frac{t_{open}}{t_{total}} \quad (8)$$

식 (5)는 소재에 전달되는 단위 시간당 열량으로 강종에 따른 비열에 의존한다. 식 (6)은 skid 파이프에 대한 손실로 노 내에서 소재를 이송하기 위하여 파이프 및 내화물로 구성된 skid pipe system이 사용되며 파이프의 냉각을 위하여 일반적으로 사용되는 냉각수를 적용하였다. 식 (7)은 로벽을 통해 주변으로 빠져나가는 열량을 의미하며, 이는 로 내 온도와 내열재의 재질에 의존한다. 그리고 식 (8)은 로에 소재를 장입하거나 추출할 때 로 외부로 빠져나오는 열량으로, 로 내와 바깥의 온도차이로 인한 복사열 손실이다.  $t_{open}/t_{total}$ 은 공정 시간 중 문이 열리는 시간의 비율을 의미한다.

Fig. 1에 skid pipe system에 대한 개략도를 나타내었으며, 본 system의 열전달 식을 아래 식 (9)~(12)와 같이 상세하게 나타내었다. [8]

$$\dot{Q} = \dot{Q}'_1 = \dot{Q}'_2 = \dot{Q}'_3 \quad (9)$$

$$\dot{Q}'_1 = \alpha \pi D_1 (T_{p,i} - T_w) \quad (10)$$

(단,  $\alpha = 2900 v_w^{0.85} (1 + 0.014 T_w)$  이다.)

$$\dot{Q}'_2 = \frac{2\pi (T_{r2,o} - T_{p,i})}{\frac{\ln \frac{D_{p,o}}{D_{p,i}}}{k_p} + \frac{\ln \frac{D_{r1,o}}{D_{p,o}}}{k_{r1}} + \frac{\ln \frac{D_{r2,o}}{D_{r1,o}}}{k_{r2}}} \quad (11)$$

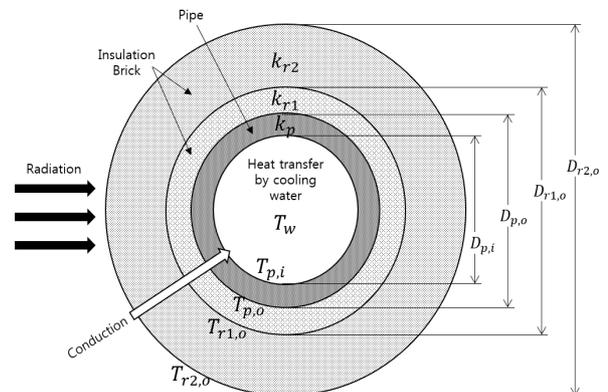


Fig. 1. Schematic diagram of heat losses through skid system.[7]

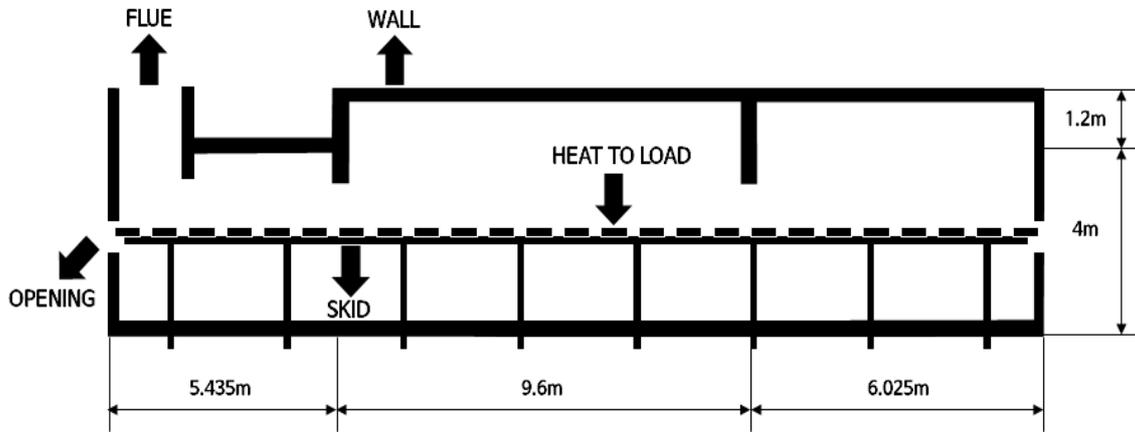


Fig. 2. Schematic of heat balance and transfer for a continuous reheating furnace.

$$Q'_3 = \sigma \epsilon \pi D_{r2,o} (T_{fw}^4 - T_{r2,o}^4) \quad (12)$$

식 (9)는 로 내 물러와 푸셔에 의한 손실도 포함한다. skid 손실을 얻기 위해 구해야할 값은  $T_{p,i}$ ,  $T_{p,o}$ ,  $T_{r1,o}$ ,  $T_{r2,o}$  4개인데 식은  $Q'_1 = Q'_2$ ,  $Q'_2 = Q'_3$ ,  $Q'_3 = Q'_1$  3개이므로  $T_{p,i}$ 와  $T_{r2,o}$ 는 가정치로 두고 시행 착오법으로  $Q'$ 를 결정할 수 있다.

위의 식들을 통해 효율을 결정할 수 있는데 식 (13)과 같다.[9-10]

$$\text{열효율} = \frac{\text{유효이용열량}}{\text{공급연료의발열량}} \times 100 (\%) \quad (13)$$

### 3. 수치해석 조건 및 사양

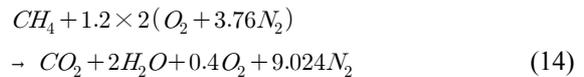
효율을 평가하기 위해 선정된 연속식 가열로의 로 내 폭은 12m이고 길이는 Fig. 2와 같이 나타내었다. 로는 예열대, 가열대, 균열대로 구분 할 수 있으며 온도는 각각 1100℃, 1200℃, 1170℃로 가정하였다. 그리고 가열로의 생산량은 110Ton/hour로 가정하여 효율비교를 위한 기초 값으로 적용하였다.

일반적인 연속식 가열로는 연소 후 배출되는 배기가스의 폐열을 이용하여 연소 공기 팬을 통해 공급되는 연소공기를 약 600℃ 이하로 예열한 후 연소기에 공급하여 사용한다. 따라서, 본 연구에서는 예열공기 온도를 550℃로 가정하였다.

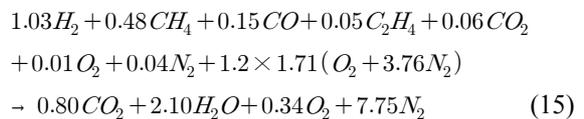
배기가스 성분은 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>만 고려하였으

며 연료의 연소 반응식은 다음과 같이 나타내었다.

식 (14)는 연료를 액화천연가스(LNG)를 사용하였을 때의 연소 반응식을 나타낸 것이다.



식 (15)는 코크스가스(COG)의 연료조성을 고려하여 연소 반응식을 나타낸 것이다.



LNG와 COG의 발열량, 공연비, 성분은 Table 1에 나타내었다.

LNG와 COG의 연소는 공기비  $\alpha=1.2$ 에서 이루어졌으며, 표 1에서와 같이 LNG는 CH<sub>4</sub>로만 구성되어 있다고 가정하였다.

반응식 (15)는 식 (14)의 LNG와 같은 열량을 내도록 맞추어 표현하였으며, 두 반응식을 통해 COG의 경우 LNG보다 연소를 위해 필요한 공기의 양이 더 적고, 배기가스의 양 또한 더 적은 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 열평형 모듈을 제작하여 연소를 위해 주입하는 공기의 산소분율, 예열 여부, 연료의 종류에 따른 효율의 변화를 살펴보았으며, 아래 표 2에 운전 조건의 변화 값을 정리하여 나타내었다.

**Table 1.** Properties of LNG and COG.

Type	LHV (kcal/Nm <sup>3</sup> )	A/F Ratio	%						
			H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
LNG	7974	9.52		100					
COG	4389	4.49	56.4	26.6	8.4	2.9	3.1	0.3	2.3

### 4. 결과 및 고찰

연속식 가열로의 항목별 열 손실량을 구하기 위해 VB 로 제작한 열평형 모듈을 사용하였다.

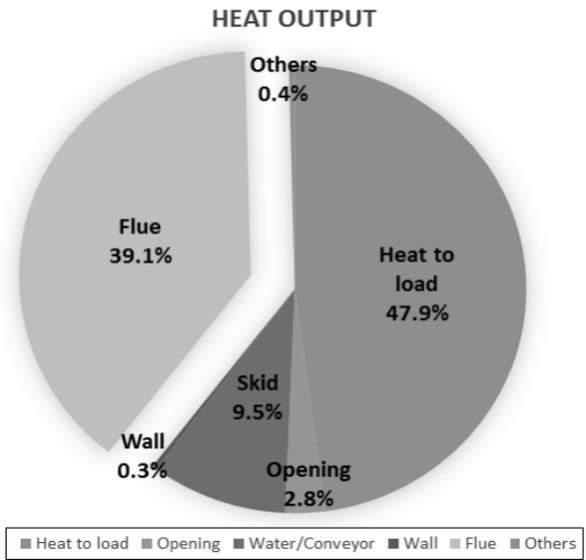
Fig. 3은 본 연구를 위해 적용된 가열로 및 운전조건을 기준으로 열평형 모듈을 통해 계산된 열손실 및 열량의 분포를 분석하여 나타낸 것이다. 소재의 가열을 위한 연소반응물로 LNG와 공기를 적용하였다. 여기서 Heat to Load는 소재가 흡수하는 열량이며 가열로의 열량 중에 생산성 확보를 위해 절대적으로 절감할 수 없는 열량이다.

나머지 다른 항목들 중 가장 큰 비율을 나타내고 있는 것은 배기손실(39.1%)이며, 이러한 결과는 구조적인 열손실에 해당하는 것들 보다는 배기손실을 줄일 때 효과적으로 가열로의 효율을 상승시킬 수 있다는 것을 의미하므로 연소공기를 산소로 대체할 시 가열로의 효율을 효과적으로 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

이러한 효율 상승효과를 위해 공기의 산소 분율을 높이면 연소반응의 열 발생에 상관없는 질소가 줄어들게 될 것이다. 이 경우 배출가스의 유량은 감소시킬 수 있으나 N<sub>2</sub>보다 비열이 높은 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> 가스의 분율이 상승하므로, 높은 비열에 의해 열손실이 증가될 우려가 있다.

Fig. 4에는 이러한 관계를 살펴보기 위해 배출가스 유량과 비열의 관계를 산소분압을 증가시키면서 비교하여 나타내었다. 연속식 가열로의 온도 범위인 1100~1200℃에서 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>에 비해 N<sub>2</sub>의 비열이 낮아 산소 분율을 높일 경우 Fig. 4와 같이, 배기가스의 비열이 상승하지만 배기가스의 유량이 그 보다 큰 폭으로 감소하므로 결과적으로 배기가스로 인한 열손실이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 4에서 도출된 결과를 검증한 것으로, 산소 분율의 증가에 따라 배기가스 손실과 가열로의 열 효율이 상반되는 관계를 보였으며, 순산소 연소조건인 경우 공기 연소조건보다 효율이 약 15.8% 상승하는 것



**Fig. 3.** Distribution of heat output in the reheating furnace for LNG as the numerical results.

으로 나타났다(Fig 5).

Fig. 6에는 LNG-공기 연소조건에서 배기열원으로부터 에너지를 회수하여 예열공기를 사용한 경우와 그렇지 않고 냉공기를 연소용 공기로 사용하였을 경우를 비교, 계산하여 나타낸 결과이다. 공기 연소조건에서는 냉공기와 예열공기를 사용하였을 경우, 효율이 약 17% 정도 차이로 예열공기를 사용했을 경우 효율이 높게 나타났으나 순산소 연소조건에서는 냉공기와 예열공기를 사용했을 경우 약 7.3%정도 효율의 차이를 나타냈다. 이러한 경향은 순산소 연소조건에서는 배기가스의 유량이 큰 폭으로 감소하여 배기가스에서 버려지는 열원으로부터 열교환할 수 있는 열량이 적기 때문에 그 효율의 증가폭이 작아지는 것으로 판단된다. 냉공기와 예열공기를 사용한 경우에서 산소분율에 따른 열효율을 살펴보면 전체적으로 냉공기를 사용한 경우가 예열공기를 사용한 경우보다 산소분율별 효율은 낮지만, 산소분율이 증가함에 따른 효율의 증가 정도는 냉공기가 훨씬 큰 것을 확인할 수 있다. 공기 연소 시 예열 공기를 사용하였을 경우 냉 공기보

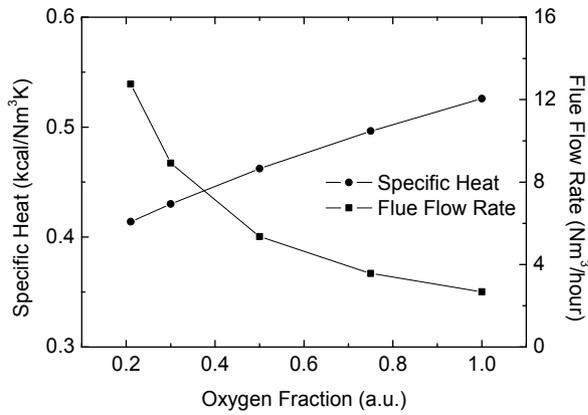


Fig. 4. Effect of oxygen fraction on specific heat and flue flow rate.

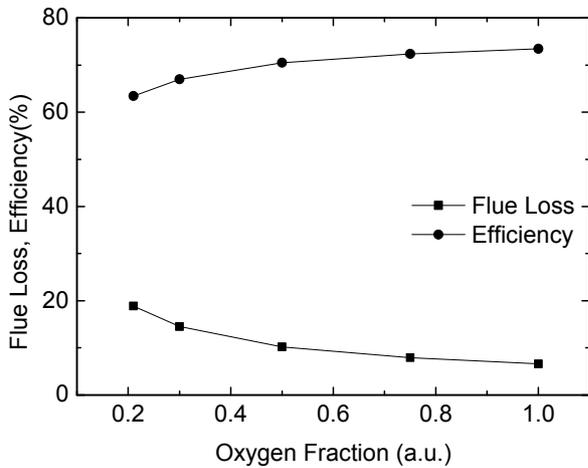


Fig. 5. Effect of oxygen fraction on flue loss and efficiency.

Table 2. A change in operating condition.

Fuel	Oxygen Fraction	Reheat
LNG	0.21~1	○
COG		×

다 효율이 약 33.2% 상승하였는데 산소 분율이 증가할수록 효율 상승 폭은 점차 감소해 순 산소 연소 시 효율은 7.3% 상승하였다. 순 산소 연소의 경우 배기가스의 유량이 큰 폭으로 감소하였기 때문에 공급되는 연소공기에 열교환기를 통해 전달할 수 있는 열량이 적기 때문이다.

Fig. 7에는 가열로의 연료로 COG와 LNG를 사용하였을 경우, 산소분율 증가에 따른 연료의 영향을 수치적으로 분석하여 결과를 나타내었다. 연료로 COG

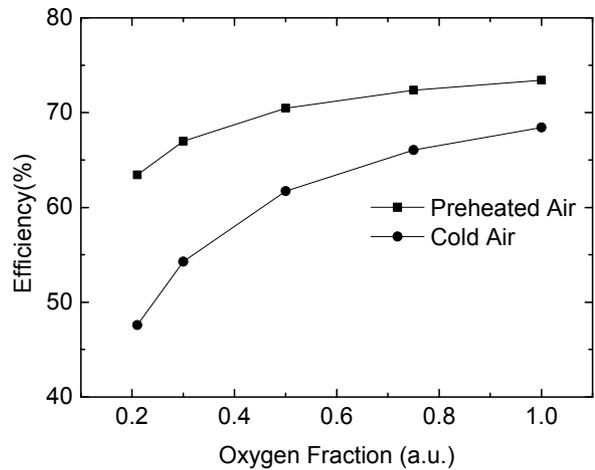


Fig. 6. Comparison of preheated air and cold air as function of oxygen fraction on efficiency.

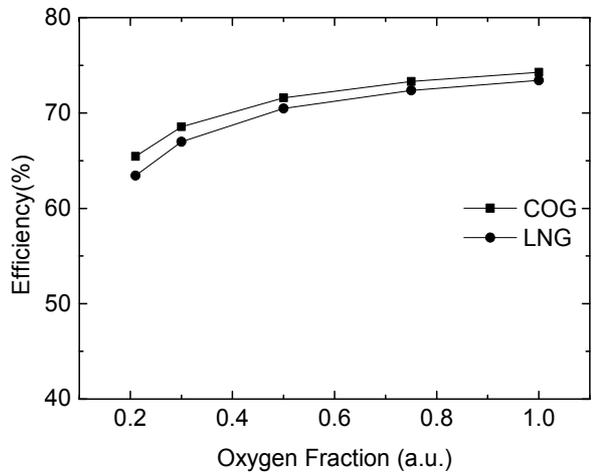


Fig. 7. Effect of fuel type(LNG and COG) as function of oxygen fraction on efficiency.

Table 3. Increased efficiency of furnace by fuel type and oxy-fuel.

Fuel	Air	Oxy-Fuel
LNG	-	15.8%
COG	3.2%	1.2%

를 사용하였을 때 LNG보다 효율이 산소분율에 따라 1.2~3.2% 정도 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 앞에서 연소 반응식을 통해 확인하였듯이, COG에 포함된 산소성분이 이론상 공기의 산소를 대체할 수 있기 때문에 주입되어야 하는 공기 유량이 줄어들고, 그에 따라 배기 유량이 감소하였기 때문에 배기손실이 감소하여 LNG보다 효율이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 3에는 110Ton/hour급 연속식 가열로부터 계산된 순산소 연소조건과 COG 연료 적용에 따른 효율을 정리하여 표로 나타내었다. LNG-공기조건을 기준 조건으로 하여 순산소 연소시 약 15.8%의 효율을 상승시킬 수 있으며, 순산소 연소조건에서 예열을 적용할 경우에는 예열을 적용하지 않았을 경우 대비 7.3% 효율이 증가하였다. 또한 LNG 대신 COG를 사용하였을 때 공기 연소조건에서 3.2%, 순산소 연소조건에서 1.2%의 효율이 상승하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 연속식 가열로 설계 및 평가 Package tool의 하위 모듈인 열평형 모듈을 제작하고, 생산량이 110Ton/hour인 가열로에 적용하여 각 부의 손실과 효율을 계산하였다.

순산소 연소의 경우 배기가스의 질소성분이 거의 없기 때문에 배기 유량이 줄어들어 공기 연소조건보다 효율이 상승하여 에너지 소비를 절감할 수 있다.

순 산소 연소 조건에서는 예열을 위한 열교환기를 사용하였을 때 배기가스 유량이 줄어들어 효율이 7.3% 상승하였다.

또한 LNG 대신 COG를 사용할 경우 COG의 산소 성분으로 인해 배기 유량이 줄어들기 때문에 효율이 상승하여 에너지 소비 절감 효과를 얻을 수 있다.

## 후 기

본 연구는 2014년도 산업통상부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 20142010102710)

## References

1. Radhakrishnan, P.: "Evaluation and Improvement of Heat Treat Furnace Model", Doctorate Thesis, Worcester Polytechnic Institute, (2008)
2. Flávio A.D. Oliveira, João A. Carvalho Jr., Pedro M. Sobrinho, André de Castro: "Analysis of oxy-fuel combustion as an alternative to combustion with air in metal reheating furnaces", Energy, Volume 78, 290-297, (2014)
3. Ruth Nataly Echevarria Huaman, Tian Xiu Jun: "Energy related CO2 emissions and the progress on CCS projects: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 31, 368-385, (2014)
4. Rodrigo Corrêa da Silva, Hans Joachim Krautz: "Experimental studies on heat transfer of oxy-coal combustion in a large-scale laboratory furnace", Applied Thermal Engineering, Volume 82, 82-97, (2015)
5. H. Liu, M. Saffaripour, P. Mellin, C.-E. Grip, W. Yang, W. Blasiak: "A thermodynamic study of hot syngas impurities in steel reheating furnaces - Corrosion and interaction with oxide scales", Energy, Volume 77, 352-361, (2014)
6. T. Wall, Y. Liu, C. Spero, L. Elliott, S. Khare, R. Rathnam, et al.: "An overview on oxyfuel coal combustion-State of the art research and technology development", Chemical Engineering Research and Design, Volume 87, Issue 8, 1003-1016, (2009)
7. Sangheon, H. and Daejun C.: "Optimum residence time analysis for a walking beam type reheating furnace", International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 55, Issues 15-16, 4079-4087, (2012)
8. Ünal Çamdali, Murat. Tunç: "Steady State Heat Transfer of Ladle Furnace During Steel Production Process", Journal of Iron and Steel Research, International, Volume 13, Issue 3, 18-20,25, (2006)
9. Charles, E. B.: Heat transfer in industrial combustion, Boca Raton, CRC Press, (2000)
10. Trinks, W., Mawhinney, M. H., Shannon, R. A., Reed, R. J. and Garvey J. R.: Industrial furnaces 6<sup>th</sup> ed., Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, INC., (2004)