

열정산과 적용사례 조사에 의한 제강 전기로용 조연버너 적용 타당성 연구

김현진, 허진혁*, 문승재**, 유호선***†

현대로템(주), *한양대학교 기계기술연구소, **한양대학교 기계공학부, ***승실대학교 기계공학과

Validity Study on Installation of a Combustion Burner for Electric Arc Furnace in Steel Making Plant by the Heat Balance Check and Case Study

Hyun-Jin Kim, Jin-Huek Hur*, Seung-Jae Moon**, Hoseon Yoo***†

Hyundai Rotem Company, Seoul 137-130, Korea

*Mechanical Engineering and Technical Research Institute, Seoul 133-791, Korea

**School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

***Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received November 11, 2009; accepted March 22, 2010)

ABSTRACT : In this study, the validity study has been carried out to apply the combustion burner in an electric arc furnace. The validity of applying the combustion burner has been studied in the aspect of the operation through the calculation of heat balance. The average decrease rate of power on time is 11.2%. When the maintainability is compared to the door lance manipulator type, the multi-functional combustion burner is simple to replace and repair. The location of burner can be adopted according to the drawings which are recommended in this study. As a result, the validity of applying the combustion burner to improve an efficiency of electric arc furnace has been confirmed.

Key words : 전기로(electric arc furnace), 조연버너(combustion burner), 열정산(heat balance check)

1. 서론

한국철강협회 조강생산 통계에 따르면 대한민국 조강생산량은 2008년 기준 53,322천톤을 생산하여 세계 6위의 철강대국이 되었으며, 국내 P사는 세계 6위의 위치를 고수하며 기술면에서나 물량면에서 앞도적인 우위를 유지하고 있다. 그 외 전기로를 이용한 제강능력 또한, H, D사등 전기로 업체들의 경쟁적 설비투자과 개선으로 생산능력이 증대되고 있다. 하지만, 이런 비약적 생산증대에 반해 제철설

비 투자시 대부분의 기술이 일본, 유럽에서 도입되고 있으며, 이로 인해 막대한 외화가 로열티 명목으로 지급되고 있는 실정이다.

전기로 조업시 전기소모량 감소는 가장 중요한 원가절감요소이며, 원가절감을 위해 조연버너, 산소랜싱, 배기가스의 재활용 및 슬래그 포밍방법등 많은 보조방법이 사용되고 있다. 조연버너법은 간단하면서 전력 대체 효율이 가장 크며, 산소와 LNG를 사용하여 고철의 예열, 절단에서부터 용강의 탈탄 및 성분조정까지 하는 방법이다.

본연구에서는 제조사들의 성능개선 방법 및 현재 현장에서 설치되어 사용되는 조연버너에 대해 그 타당성 조사를 하고자 한다. 조연버너의 성능비교를 위해서는 전기로의 입출열 수치화가 필수적이며, 이에 따라 실제 조업데이터를 기준으로 열정산을 실시

† Corresponding author

Tel.: +82-2-820-0661; Fax +82-2-820-0668

E-mail address: hsyoo@ssu.ac.kr

하여 입출열에 대한 검토를 한 후, 조연버너 효율성에 대한 타당성을 조사한다. 또한, 과거 조연버너의 개선과정과 현재 적용사례를 바탕으로 조연버너를 비교연구하여 조연버너 적용에 대한 타당성을 분석하였다.

2. 전기로와 조연설비

2.1 전기로

전기로란 전열을 이용하여 가열하는 노를 일컬으며, 전기를 열원으로 하여 탄소 전극봉에 아크를 발생시켜 고철을 용융시키는 장치로 각종강재를 만들기 위한 고철의 용융 목적으로 사용된다. 전기로에는 저항로와 아크로가 있으며, 본 연구에서 다루는 전기로는 아크로이다.

전기로 작동은 아크 점화, 전극봉 장입, 1차 용융, 2차 용융, 3차 용융 그리고 히팅 순으로 작업이 이루어진다. 용강의 취급에 따라 작업을 구분하면 고철을 장입하고 용융시키는 용해기와 용융된 용강의 성분조정을 하는 정련기로 나눌 수 있다. 조연버너의 화염은 주로 용강이 형성되는 1차 용융 단계에서 많이 사용되며, 랜스는 용강의 형성이 완료된 3차 용융 단계 이후부터 사용하게 된다^[1].

철강 생산을 위한 용융장치로 전기로를 많이 사용하는 이유는 크게, 칠광석을 녹여 용강을 생산하는 일관제철소와 비교했을 때, 적은 투자비용이 소요된다는 점과 전기를 열원으로 함으로써 동력원을 쉽게 구할 수 있는 장점 때문이다.

2.2 조연설비

조연설비는 전기로내 고철을 용해함에 있어 기존에 순수 전기만을 사용하던 것을 전기로 작업시 생산 원가절감 및 제품의 품질개선을 위해 LNG, 가탄제등 보조재 투입에 따른 기술개발이 이루어지는 과정에서 개발된 보조설비이다. 그중 가장 대표적인 설비가 조연버너이다. 버너는 LNG와 산소를 사용하여 전기로 작업중 고철의 용해 및 용강의 제조를 돕는 설비로 설비보존이 용이하고 그 구조가 간단하며, 고철의 예열, 절단, 취련, 슬래그포밍 및 이차연소에도 쓰이는 등 그 용도의 다양성으로 인하여 널리 이용된다.

조연버너는 크게 전기로 용해과정에서 전극봉의 열이 미치지 못하는 콜드존(cold zone)에 대한 용해를 돕는 것과 정련과정의 산화반응을 만드는 두 가지 목적을 가지고 있다. 조연버너가 없는 경우 전기

로의 복사열만으로 고철이 용융되기 때문에 복사열이 전달되는 영역 사이에 콜드존이 발생한다. 콜드존으로 인해 전기로 가동시간을 늘어나게 되어 전기로의 효율이 떨어진다. 조연버너를 설치하여 콜드존을 줄이면 용해가 고르게 되며, 전기로 가동시간이 단축된다. 산화반응은 고철 용해 후 산소를 음속으로 용강속에 침투시킴으로서 화학반응을 일으키게 하여 용강속의 탄소를 제거하는 것이다.

조연설비의 기능은 일차적으로 전력을 대체하는 게 우선이지만, 그 외에도 산소효율성의 증가, 생산성 향상, 전기로 가동시간 감소, 전력소모량 감소의 기능을 가지고 있다. 이 기능에 부합하기 위한 조연설비의 기능상 주요 단계별 특징은 다음과 같다.

- ① 고철용해 : 일반화염
- ② 용강정련 : 초음속 산소랜스
- ③ 슬래그포밍 : 탄소투입
- ④ 후연소 : 산소투입

또한, 조연버너의 가동은 용강의 가장 근접한 곳에서 작동되기 때문에 용강의 텀, 판넬과열, 내화물 마모, 산화철 레벨, 임계점 상태가 설계시 고려되어야 한다. 이와 같이 조연버너는 용강의 작업상황과 밀접한 관련이 있기 때문에, 선정 및 설치시 충분한 검토가 필요하다.

3. 열정산

열정산은 전기로의 투입열량, 조업 후 용강을 녹이는데 유효한 열량과 외부 출열량의 계산을 통하여 투입열량대비 소모된 열량, 그리고 손실열량 비율이 어떻게 되는가를 조사하는 것이다.

3.1 열정산 전제조건

열정산의 난해성으로 인하여 데이터의 인용과 적용범위에 대한 전제조건이 필요하며, 열정산의 전제조건은 아래와 같다.

- ① 관련조건에 근접한 열역학 데이터를 원용한다.
- ② 조건의 수치화가 필요한 인자에 대해서 측정이 곤란할 경우 우선 실제 전기로 조업조건을 기초로 작성한 자료에서 인용하고 차선으로 경험수치를 적용한다.

관련 수식은 일본공업규격(JIS) 전기로의 열감정 방식(G0703-1995)을 채용하였고, 그 해설에 소개된 열의역학 데이터를 다수 인용하였으며, 독일 아

헨공대의 통계적인 전기로 에너지 변환수식도 일부 참고하여 데이터를 산출하였다.

3.2 열정산 기준

조업의 연속성을 감안하여 열정산 시간, 채취 횟수 및 순출강량에 대한 양 및 온도조건을 정하여 이를 기준으로 열정산을 실시하며, 일반적으로 용해기와 정련기 조업을 실시함으로 각 기간의 데이터를 산출한 후 하나의 데이터로 종합한다. 열정산에 대한 주요기준은 다음과 같다.

- ① 열정산 시기는 통전개시부터 출강(부원료 투입 전) 까지를 대상으로 한다.
- ② 동일강종의 연속 3 heats의 조업결과에 기초한 각 heat 마다의 계측 평균치를 취한다.
- ③ 열정산은 순출강량 1톤에 대하여 행한다.
- ④ 열정산의 기준 온도는 외기온도로 한다.
- ⑤ 작업기별(용해기/정련기)로 나누어 열정산을 하고 결과를 종합한다.

3.3 열정산 측정방법

전기로의 특성상 조업시 발생하는 모든 조건을 측정할 수 없기 때문에, 측정이 불가능한 부분에 대해서는 조업 경험치 및 소모자재에 대한 손실률을 활용한다. 주요 데이터에 대한 수집방법 및 기준은 아래와 같다.

- ① 아크 로깅데이터를 기준으로 한다.
- ② 전기로 냉각수 온도는 조업화면의 데이터를 참조하였고 전기로 급수 관련 사항은 수처리의 전기로(electric arc furnace) 아날로그 밸류화면을 참조한다.
- ③ 전극사용량은 기실적인 1.18kg/출강톤을 적용한다.
- ④ 예열에 의한 고철의 현열, 잔탕 및 잔슬래그관

련 데이터는 조업에서 적용하는 데이터를 사용한다.

- ⑤ 장입재의 평균조성, 포트슬래그(pot slag)량 및 조성은 조업시 입력하는 데이터에 따른다.
- ⑥ 전기적 손실인 변압기 손실 및 2차 도체 손실은 메이커 사양에 따른다.
- ⑦ 배가스관련 데이터는 조업기별 배가스 조성을 전제로 하고 투입 탄소에 대한 이론적 CO 및 CO₂가스량을 역산하여 배가스량을 정한다.

4. 조연버너 적용 타당성검토

4.1 국내사례

본 사례는 국내 제강사의 조업개선을 위한 조연법 개선에 대한 연구로서 버너가 설치되지 않았던 기존 설비에 스파이럴(spiral) 형식의 버너 3기를 설치하고, 이후 트럼펫(trumpet) 형식의 6기로 개선함에 따라 조업에 미치는 영향을 실험한 결과이다. Table 1은 실험결과에 대한 전력원단위와 버너, 전면/측면 산소취입기의 산소 및 LNG 원단위의 변화를 나타내고 있다. 본 실험에 사용된 전기로는 100톤 용량으로 출강시 산화 슬래그의 유출 방지를 위해서 편심로 저출강방식을 채택하고 있다. 전기로 노경은 6,400 mm, 노고는 4,180 mm, 내용적은 70 m³이다. 변압기 용량은 80 MW이고 24인치 전극을 사용한다. 전기로의 보조 설비로는 수냉 전면 산소랜스와 가탄랜스가 조업구축에 있다.

본 사례에서 알 수 있듯이 조연버너의 사용과 산소 사용량의 증가가 전력소모량 감소에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 버너 3기를 설치하면서 기존의 산소 집중도가 좋지 않은 스파이럴 형식의 버너를 트럼펫 형식으로 바꾼 결과, 버너의 수량은 증가했음에도 불구하고 LNG사용량은 감소함을 볼 수

Table 1 Operation result of the energy consumption⁽²⁾

		Initial assistant equipments	After installation of three burners	After installation of EBT burners
Electric power consumption (kWh/ton)		442.4	436.5	423.8
Oxygen consumption (Nm ³ /ton)	Burner	12.0	13.0	13.0
	Front oxygen	10.0	10.0	8.0
	Side oxygen	10.0	10.0	10.0
	Sum	32.0	33.0	30.0
Burner LNG consumption(Nm ³ /ton)		0.53	1.53	1.20
Total energy consumption(Mcal/ton)		453.2	460.8	442.1

있다. 3기의 스파이럴 형식 버너를 설치한 경우, 전력소모량이 5.9 kWh/톤 감소했지만, 에너지소모량에서는 오히려 453.2 Mcal/톤에서 460.8 Mcal/톤으로 증가함을 볼 수 있다. 즉, 설비개선을 했음에도 불구하고 오히려 전기로 효율성 측면에서는 큰 이득을 얻지 못했다는 것이다. 이 후 6개의 버너를 장착하고 버너를 트럼펫 형식으로 변경함으로써 설비개선의 효과가 있었음을 알 수 있다.

조연버너를 적용하지 않은 경우 10.90 kWh/(ton.min)의 전력이 투입되었지만, 트럼펫 형식의 버너 6기 설치시 7.37 kWh/(ton.min)의 전력이 투입된 것으로 나타났다. 운전조건, 제품, 버너사양에 따른 편차를 감안할 때 버너 설치 시 약 10 ~ 15%의 전력투입의 절감이 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 버너 설치시 10% 이상의 전력소모량 감소가 가능한 것으로 판단된다.

조연버너 개선 전후 전기로 전력투입시간(power on time)은 46분에서 44.1분으로 단축되어 조연설비의 개선시 작업시간 단축에 많은 효과가 있음을 알 수 있다. 조연버너의 개선을 통해 전력투입시간이 4.1% 정도 감소되어 원가절감 측면에서 전기로에 조연버너를 설치하는 것이 유리한 것으로 판단된다.

4.2 폴란드 Huta Zawiercie사 사례

Huta Zawiercie⁽³⁾는 기존에 3개의 버너로 작업을 하던 방식에서 성능개선을 위해 4개의 버너와 랜스 일체형으로 개선하였다. 이 전기로는 3 ~ 4회의 버켓장입으로 경량고철을 사용하여 작업을 한다. 기존 운영상 문제점은 경량고철이 종종 측면 벽체에 걸리며, 이 고철은 정련작업시 용탕 속으로 떨어지곤 하

는 것이었다. 이는 탄소의 증기와 열손실을 유발하여 에너지 효율 저하와 품질 문제를 유발하는 원인이 되었다. 이를 개선하고자 설치한 조연버너는 냉각벽체에 걸리는 경량고철을 실시간으로 녹임으로써 이런 현상을 방지하였고, 이런 개선은 고철의 용해를 촉진시키고 고철장입이 늦춰지는 것을 줄였다.

조연설비 시스템을 설치하기 전에 Huta Zawiercie사는 저탄소용해를 위해 철광석을 사용하였다. 이것은 불완전 산화와 다량의 황성분 때문이었는데, 조연버너를 설치하고 나서 이런 작업이 필요 없게 되었다. Table 2는 버너랜스형 4개로 개선하고 나서 수집된 성능개선 데이터를 나타낸 것이다. “Base”는 기존 버너, “PTI”는 랜스와 버너 일체형을 의미하며 “Change”는 소모량의 변화를 백분율로 나타낸 것이다. 조연버너의 적용으로 전극봉 소모량(electrode consumption)이 21.7% 감소하였다. 유지/보수 측면에서 구조의 단순화로 인한 측면과 버너개선에 의한 전극봉의 마모율 감소는 조연버너의 적용으로 인력투입 및 소모재의 사용 감소로 나타날 수 있음을 알 수 있다.

4.3 태국 G Steel사 사례

G Steel은 태국 라영지역에 위치한 코일을 생산하는 제강사이다. 이 회사는 에너지 소모량이 5.15 MBtu/톤으로, 타 회사의 소모량인 5.11 MBtu/톤보다 10% 이상 높았다. 에너지 소모량을 감소시키기 위해 버너의 위치를 이동하는 설비개선을 수행하였으며, 개선 전후 결과를 Table 3에 나타내었다. 조연설비의 개선을 통해 기존에 5.15 MBtu/톤 소모되던 열량을 버너이동을 통해 4.55 MBtu/톤으로 낮추

Table 2 Improvement results of Huta Zawiercie⁽³⁾

	Base	PTI	Change
Tapping weight (ton)	133.5	133.5	0.0
Power input (MW)	60.5	66.5	9.9
Secondary voltage (V)	857	909	6.1
Electrical consumption (kWh/ton)	480	415	13.5
Tap to tap time (Min)	88	68.2	22.5
Power on time (Min)	63.7	51	19.9
Natural gas consumption (Nm ³ /ton)	2.7	5.4	100.0
Oxygen consumption (Nm ³ /ton)	28	32.3	15.4
Slag FeO (%)	35 ~ 45	25 ~ 40	20.0
Electrode consumption (kg/ton)	2.3	1.8	21.7

Table 3 Comparison table of energy consumption⁽⁴⁾

	Electricity		Carbon		Oxygen		Natural gas		Total
	kWh /ton	MBtu /ton	Kg/ton	MBtu /ton	Nm ³ /ton	MBtu /ton	Nm ³ /ton	MBtu /ton	MBtu /ton
Bench-mark	392	4.21	16	0.44	38	0.23	9	0.32	5.11
G-Steel(original)	430	4.52	7	0.19	31	0.19	7	0.25	5.15
G-Steel(modified)	378.5	4.06	4.09	0.11	32.9	0.20	4.9	0.18	4.55

었다^[5]. 버너 1개의 이동으로 전기소모량이 69.5 GWh/year 감소되며, 연간 384만달러의 절감이 가능한 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 조연버너의 적용사례 검토를 통한 조연버너 적용 타당성 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

국내사례를 통해 설비구성면에서 조연설비는 버너와 산소랜스 두 가지 기능을 갖는 것이 산소랜스를 별도로 설치하는 것보다 유리함을 알 수 있었다. 전력소모량은 10 ~ 15% 감소할 것으로 판단되었으며, 투입시간 역시 4.1% 감소되는 것으로 그 타당성이 확인 되었다.

폴란드의 Huta Zawiercie사의 사례를 통해 기존 버너기능과 랜스기능이 분리된 설비를 버너와 랜스가 통합된 조연버너로 교체한 결과에 대한 효과를 볼 수 있었다. 버너와 랜스의 통합을 통하여 전력소모량이 13.5% 감소하고, 탭타이밍(tap to tap time)도 22.5% 감소하며, 전극소모량도 감소하는 등 다수의 효과가 있음이 확인되었다.

태국 G Steel사의 사례에서는 단일 버너의 위치선정과 변경을 통하여 13% 정도의 에너지 절감효과가 있었다. 본 사례는 초기 조연버너 선정의 중요성에 대해 확인하는 사례로 조연버너의 타당성뿐 아니

라 선정에 있어서 상세한 타당성 검토가 있어야 함을 알 수 있다.

참고문헌

1. Jones J., 1987, Understanding Electric Arc Furnace Operations, The EPRI center for material production, pp. 1.
2. Kim J. H., 2005, Development of an Optimaized Burner and Carbon Injection Technology in the Electric Arc Furnace, Pusan National University, Seoul Korea, pp. 35~38.
3. Brhel J., 2002, An Improved of Applying Chemical Energy into the electric arc furnace, Air Product Company, pp. 1~5.
4. Kanokpranatut T., 2004, Repositioning of electric arc furnace burner, G-Steel public company ltd., pp. 1~4.
5. Becan R., 2004, Pyrejet and Alarc pc, Coupled system for electric arc furnace steelmaking : Industrial results at LME(France), 2nd International Conference in Steel Times, pp 5~6.