

舍鐵 廢棄物의 熔融還元 工程에 관한 分析研究

閔東峻·李洪基*·朴賢緒*

延世大學校 金屬工學科, *三星重工業(株) 中央研究所

An Analysis of Simulation Model for Smelting Reduction Process of Waste Containing Iron Oxide

Dong-Joon Min, Hong-Kee Lee*, Hyun-Seo Park*

Yonsei Univ. Metallurgical Eng.

*Samsung Heavy Industries Co, LTD. Central Advanced Institute of Research & Technologies

ABSTRACT

The computer simulation model was established to verify the applicability of smelting reduction concept to treatment of industrial wastes which becomes issue on the environmental and recycling view point. Computer simulation model provides as following results The increase of post combustion ratio(PCR) and heat transfer efficiency of PC energy(HTE) is effective ways to save energy. But, in order to increase PCR, recovery efficiency of post combustion energy(HTE) have to be higher than 85% HTE considering refractory life and saving energy together. Coke is most useful fuel source because it shows lowest dependence of PCR and low hydrogen content The quality of hot metal of current process would be expected to the similar level with that of blast furnace. The utilization of scrap and Al dross can be also possible to maximize the advantages of current process which is high temperature and chemical dilution with hot metal and slag. In case of scrap, energy consumption was slightly increases because of heating up energy of scrap. Consequently, current process concept provides the possibility of intergrating recycles of industrial wastes materials such as EAF slag, coke oven dust, life terminated acidic refractory, aluminum dross and scrap by smelting reduction process.

I. 서 론

향후 산업의 고도화와 더불어 증가하는 고온점의 합철 폐기물에 대한 기존 분리 수거에 의한 소극적인 방향에서 벗어나 적극적인 환경적 대응방안의 요구가 점점증하고 있다. 이와 같은 향후 환경 친화성으로 요약되는 잠재적 생산비용의 증가에 대하여 다음과 같은 개념적 대응 방안이 제시되고 있다.

- 발생원 감소 : 에너지 절약 및 청정 에너지화
- 재활용 . 처리 공정내 자원화
- 후처리 : 발생물에 대한 무해화 처리

예를 들어 철강 산업에서 에너지의 대부분을 소비하는 제철 공정에서는 PCI 기술,²⁾ 용융환원공정,^{3,4)} 수소 환원 등과 같은 에너지원 변화를 통한 공해 발생원의 변화를 시도하고 있으며,¹⁾ 발생 분진의 피상화⁵⁾ 및 플라즈마 기술을 이용한

재자원화를 적극적으로 시도하고 있다.⁵⁾

그러나 산업 발전에 따른 자원 소비의 급속한 증가는 산화물, 슬래그, 주물사, 병, 알루미늄 드로스 등과 같은 고온점 폐기물 발생량 대부분을 매립에 의존함으로써 유가 자원의 폐기는 물론 매립에 따른 많은 문제점을 야기시키고 있어서 이에 대한 효율적인 처리 방안 도출이 시급히 요구되고 있다. 예를 들어 제철 산업에서 대량 발생되고 있는 전기로 슬래그는 재활용율이 약 20%수준으로 대부분이 매립되고 있어 향후 환경문제와 자원 폐기라는 점에서 제철 산업의 경쟁력에 중요한 제한 요소로 지적되고 있다.⁶⁾ 이밖에도 주물사, 병류 등의 고온점 폐기물 등도 일부 재활용에도 불구하고 그 처리수준과 경제성에 일정한 한계를 보이고 있는 것으로 알려져 있다.

이에 대하여 최근의 용융형 처리 개념은 고온의 용융환원

반응을 이용하여 유가 성분은 환원 분리하고, 산화물 성분들을 혼합용융함으로써 안정 무해화시키고 있다는 점에서 주목된다. 용융환원공정은 기본적으로 철광석의 제선 공정을 대상으로 개발되었으나,^{3,5)} 고온 반응 특성을 이용하여 전기로 슬래그, 폐연와, 폐주물사, 병류, 고철 등과 같이 소각 기술로서는 처리할 수 없는 고융점 폐기물을 용융 처리함으로써 근본적인 무해 자원화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 전기로 슬래그와 병류, 주물사, 알루미늄 드로스와 같은 고융점 폐기물을 동시 처리할 수 있는 용융환원 공정에 관한 물질 및 에너지 수지에 관한 모델을 수립함으로써 공정의 개념과 요소 기술들의 중요도를 정량적으로 예측, 제시하고자 한다.

2. Modelling

기본적인 공정 개념은 상온의 슬래그와 기타 원료와 일반탄 및 순산소를 전제로 하는 용융형 공정을 상정하였다. 노내 반응에 관한 요소 기술로서 2차 연소율(PCR), 열전달 효율(HTE) 그리고 탈황등 정련 반응을 고려하였다. 본 전산 모델은 주어진 초기 원료 및 반응 조건하에서 다중 물질 수지관계를 만족하는 용선 1톤당 일반탄의 소요량을 계산하였다(Fig. 1) 예를 들어 반응계에 있어서 철에 대한 물질 수지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{c_{(flux)}} + F_{c_{(ore)}} + F_{c_{(coke)}} + F_{c_{(scrap)}} = F_{c_{(hot\ metal)}} + F_{c_{(slag)}} + F_{c_{(dust)}} \quad (1)$$

이와 같은 다중 물질 수지 관계를 타 성분에도 적용시킴으로써 소요 원료 및 배가스 등의 물질 및 에너지 수지를 계산하였다. 반응계에서 환원 및 연소에 의해 발생하는 배가스 성분은 Subroutine Program에서 주어진 온도의 수성 가스 반응 및 CO-CO₂의 평형 관계를 만족하는 조건을 계산하였다. 배가스의 열용량과 발생량으로부터 발생 가스 온도, 가스 조성, HTE 및 PCR 등의 관계도 도출하였다. 이때 사용된 PCR과 HTE의 정의는 다음과 같다.

$$PCR = \frac{\%H_2O + \%CO_2}{\%H_2O + \%CO + CO_2} \times 100 \quad (2)$$

$$HTE = \frac{Q_{Transfer\ to\ bath}}{Q_{Generated\ by\ PC}} \times 100 \quad (3)$$

여기서 Q는 발생 또는 Bath로 전달된 열량을 의미한다. 계산된 가스의 온도(T_g)를 평형 가스 농도 계산에 사용된 온도(T_g⁰)와 비교하고, 두 온도간의 차이가 설정된 오차 범위보다 작아지도록 계산을 반복하였다. 따라서 본 계산 프

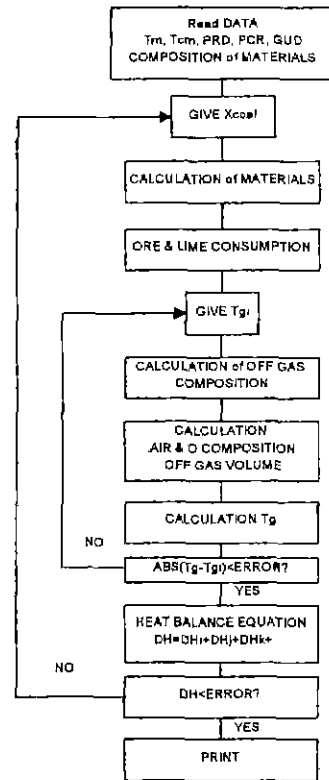


Fig. 1. Flow chart of computer program

로그래밍은 물질과 에너지 관계의 본 프로그램과 배가스 조성의 Subroutine으로 구성되는 Two Division Iteration Method을 사용하였다. 예를 들면 고온에서 예상될 수 있는 가스 조성에 관한 CO₂의 열분해 반응⁷⁾[식 (4)]을 열역학적으로 고려하였다



모든 반응물질에 관한 열화학적 데이터는 참고 문헌에서 인용하였다.⁷⁾

3. 원 료

전기로 슬래그는 (CaO-MgO)-SiO₂-FeO-CaF₂의 다성분계이지만 일반적으로 CaO-SiO₂-FeO의 3원계로 취급 가능하며, 일정한 열기도를 나타내므로 본 연구에서는 철산화물의 농도를 주요 변수로 선택하였다. 슬래그중 철산화물은 FeO의 형태를 기준으로 계산을 행하였다. 따라서 본 연구에서는 55% CaO-15% SiO₂-25% FeO의 슬래그를 가

Table 1. Combustion energy contents and ultimate analysis for various coal types

wt%	Asb	C	H	N	O	S	ΔH (kcal/kg)
Coal A	6.4	84.7	4.2	0.9	3.0	0.8	8090
Coal B	5.95	79.5	5.2	1.5	6.5	1.32	7920
Coal C	4.9	73.9	5.0	1.5	14.2	0.47	7512
Coke D	6.4	90.0	0.1	0.6	9.0	0.47	8400

Ash composition (wt%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
Coal A and B	55	32	1	1	6
Coal C and D	40	30	20	5	4

상적 광석으로 취급하였다(이하 전기로 슬래그를 광석으로 칭함) 석탄은 탄종에 따라 연소열 및 휘발 성분을 달리 하므로 그 영향을 조사하기 위하여 3가지의 일반탄과 코크스를 선택하여 비교 조사하였다(Table 1). 그러나 대표적인 계산의 경우에는 일반탄(B 탄종)과 25% FeO의 슬래그를 대표 조성으로 하였다. 공정 기술로서는 소요 에너지를 2차 연소에 의해 공급되는 고 2차 연소 공정을 상정하였으며, 광석은 상온 상태의 장입을 상정하였다 대표적인 조업 조건으로써 30% PRD, 85% HTE, 45% PCR을 설정, 계산하였다.

기타 요소로써 용선의 조성, 고철, 전기 에너지의 사용, HTE 조건, 분진 발생량의 영향도 조사하였다. 설비 조건으로서 열 손실율은 비교적 높은 15%를 설정하였다. 용선 조성은 충분한 유동성이 확보되는 3.5% C를 설정하였다.

첨가 효과로서 고철 이외에도 고체 연료의 하나로서 폐기물인 알루미늄 드로스 처리도 고려하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig 2에 슬래그중 T.Fe농도가 산소 및 석탄의 소모량에 미치는 영향을 나타내었다. 광석 1톤 처리에 필요한 산소 및 석탄의 소모량은 T.Fe가 증가할수록 직선적으로 증가하고 있다. 이는 슬래그중 철산화물의 환원 반응이 흡열 반응이기 때문이다. 25% FeO의 경우에는 산소 및 석탄 소모량은 각각 320 kg/t-ore, 350 Nm³/t-ore 수준이었다.

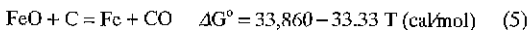


Fig. 3은 광석의 초기 장입 온도의 영향을 나타낸 것으로 장입 온도가 증가할수록 석탄과 산소의 소모량이 크게 감소하고 있었다. 따라서 배가스를 이용하여 일반적인 예열 온도인 400°C까지 승온시킴으로써 석탄과 산소를 각각 60

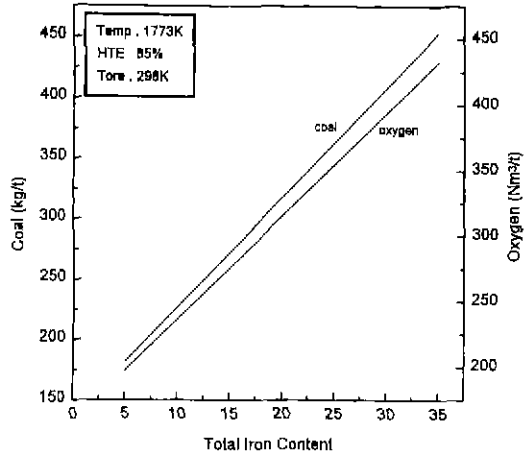


Fig. 2. The effect of T Fe content in ore on the coal and oxygen consumption

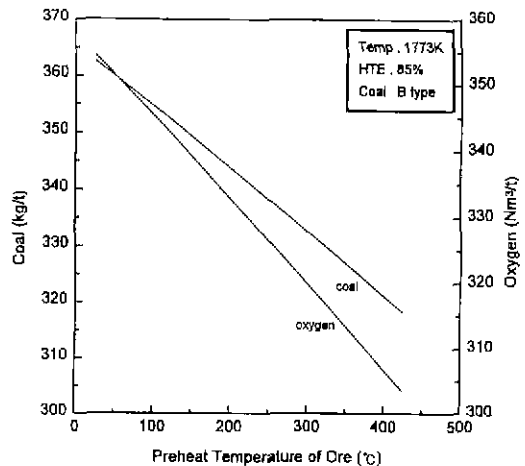


Fig. 3. The effect of temperature of ore on the coal and oxygen consumption in smelting reduction process.

kg/t-ore, 55 Nm³/t-ore 정도를 동시 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 실제로 전기로 공정에서 발생한 슬래그는 일반적으로 냉각 분쇄후 자석을 통한 철분 회수한 후 처리되므로 이와 같은 배가스를 이용한 상온 원료를 예열하는 기술은 석탄과 산소 소모량을 동시에 절감할 수 있는 현실적인 방안이라고 사료된다.

이와 같은 광석 예열 방법으로는 일반적인 고철 예열 공정인 Shaft, Con-Steel 연속 예열 공정의 적용이 가능할 것으로 생각되며, 현재 배가스에 의한 예열 기술로서는 EOF 공정이나 Twin Arc Furnace에서 상용화되고 있다. Fig 4에 슬래그중 Fe 산화도의 영향은 Fe³⁺가 증가할수록 석탄, 산소 그리고 배가스가 증가하고 있으며, FeO(33.3% PRD)에

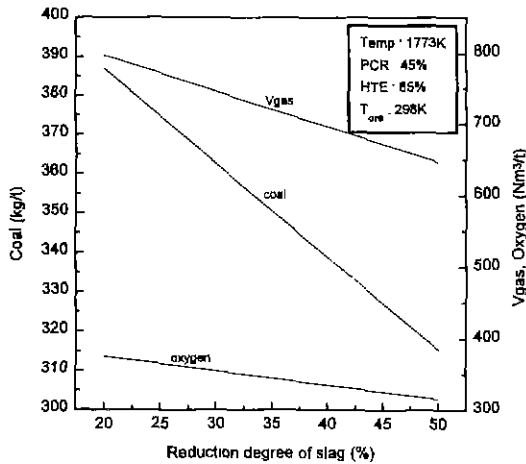
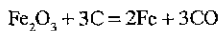


Fig. 4. The effect of oxidation degree of ferrous oxide in slag on the material consumption of process.

서 Fe_2O_3 가 50%정도 포함되는 20% PRD로 감소함에 따라 약 28 kg/t-ore의 석탄 소모량이 증가하고 있다. 이는 광석 중 철산화물의 환원 에너지가 크게 증가하였기 때문이다 [식 (6)].



$$\Delta G^\circ = 194,580 - 59.91 T \text{ (cal/mol)} \quad (6)$$

Fig. 5는 환원 및 연료인 석탄 종류의 영향을 나타낸 것으로 탄종에 따라서 연소열과 휘발분중 수소 농도를 달리하므로 탄종 선택은 전체적인 연료 석탄 소모량에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.^{6,7)}

현재까지의 연구 결과에 의하면 탄종에 따라 수소농도에 따라 다소의 차이는 있으나, 최대 45%의 2차 연소율과 85%~90% 정도의 열 전달율을 달성할 수 있는 것으로 보고 되고 있다.^{6,7)} Fig. 5로부터 알 수 있는 바와 같이 2차 연소율(PCR)이 증가할수록 석탄 소모량은 크게 감소하고 있음을 알 수 있으며, 탄종에 따른 차이도 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 2차 연소율이 증가함에 따라 휘발분중의 수소 이용률이 증가하기 때문이다. 탄소 함량이 높은 코크스 D탄종은 일반탄인 A, B, C탄종에 비하여 전 2차 연소율에 걸쳐 의존도가 낮음을 알 수 있다. 일반 탄종의 경우에서도 30% 이상의 2차 연소율에서는 탄종에 따른 영향은 감소하므로 높은 2차 연소율에서는 수소 성분이 높은 저급탄의 사용도 가능케 할 것으로 생각된다. 이는 2차 연소율 증가에 따라 CO의 2차 연소 반응열[식 (8)]과 승온중 휘발하는 수소 성분의 2차 연소에 의한 발열량(-59.1 kcal/mol)이 유사한 수준을 나타내고 있기 때문이다.

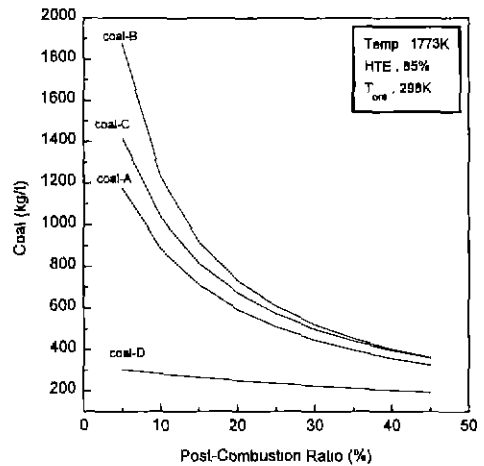
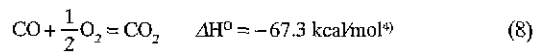
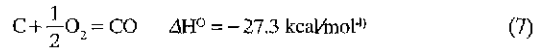


Fig. 5. The effect of kinds of coal on the coal consumption.



용선 온도를 나타내는 조업 온도의 영향을 Fig. 6에 나타내었다. 조업 온도가 증가할수록 석탄 소모량은 증가하며 용선 온도가 100°C 증가할수록 40 kg/t-ore의 석탄이 추가 소요될 것으로 추정된다. 따라서 출선조업이나 교반에 필요한 충분한 유동성을 확보할 수 있는 1500°C 내외의 조업이 적절할 것으로 추정된다.

이에 관련하여 조업 슬래그 물성은 2차 연소율 향상에 관련된 Foaming, 교반 그리고 정련, 점도의 조절에 중요하다. 일반적으로 슬래그는 3.5~4.0 수준의 고염기도(B=wt%CaO/wt%SiO₂)이므로 안정 조업과 무해 자원화를 위해서는^{9,10)} 산성계 산화물을 이용한 염기도의 최적화, 정련 반응 및 융점 등을 최적화되는 1.5~2.5 정도의 염기도로 조절할 필요가 있다.^{7,8)} 이러한 염기도 조절은 산성계 폐연와, 병류 등으로 행함으로써 약 300 kg/t-slag 정도의 산성계 폐연와 또는 폐주물사 등의 고융점 폐기물을 동시 처리와 조업후 슬래그 자원화를 동시에 이룩할 수 있다는 점에서 주목된다. 조업 슬래그중 FeO는 2차 연소율을 위한 슬래그 Foaming에 중요한 요소로서 일반적으로 3~5% 정도를 유지할 필요가 있는 반면 정련 반응 효율과도 밀접한 관계가 있다.^{9,11)} 탈황 반응은 온도, 염기도 그리고 FeO 농도에 의존한다[식 (9)].



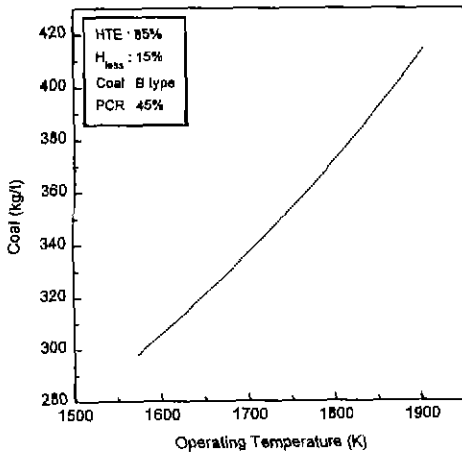


Fig. 6. The effect of operating temperature on the coal consumption.

$$C_s \approx \frac{(wt\%S)}{[wt\%S]} \frac{1}{p_{O_2}^{1/2}} = \frac{K_s a_{O_2}}{f_{S_2}} \quad (11)$$

식 (11)에서 산소 이온의 활량은 염기도에 의존하고, 산소 분압은 식 (10)과 같은 반응에 의해 규정되므로, 슬래그 중 Sulfide Capacity, C_s 는 FeO 농도와 염기도에 의해 규정되어 슬래그/용선간 황의 분배비를 구할 수 있다. 황의 분배비는 슬래그중 FeO 농도에 크게 의존하고 있다(Fig. 7). 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 1% FeO 이하에서는 탈황능이 크게 증가하지만, 그 이하에서는 FeO농도의 의존도가 감소하고 있다. 슬래그의 황분배비는 1% FeO정도에서 20정도로서 용선중 황 농도는 약 0.01% 수준이 될 것으로 사료되어 고로 용선과 유사한 수준이 될 것으로 생각된다. 용융형 용융환원 공정에서의 요소 기술로서는 Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 2차 연소(PCR)라고 할 수 있다. 그러나 2차 연소율이 증가함에 따라 석탄 소모량이 크게 감소하지만 발생 배가스의 온도도 급격히 증가하여 내화재 및 주변 설비에 큰 부담이 될 것이 예상된다(Fig. 8). 따라서 배가스의 온도 상승에 이용되는 2차 연소 에너지를 환원 반응부에 회수 활용하는 2차 연소 회수(HTE) 기술의 적용이 용융형 공정에서 가장 중요한 기술이다. Fig. 9는 HTE의 영향을 나타낸 것으로 HTE가 증가함에 따라 석탄, 산소, 배가스 온도가 동시에 저하하고 있으며, HTE가 70%에서 90% 수준으로 증가함에 따라 배가스 온도가 1950°C에서 1550°C로 감소함으로써 통상적인 내화재의 사용 온도 수준이 될 것으로 생각된다. 또한 석탄 소모량에 대해서도 30%의 HTE증가는 15% PCR 증가와 같은 효과가 있음을 알 수 있

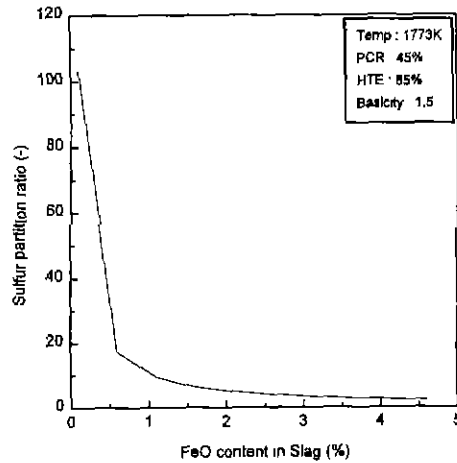


Fig. 7. The effect of FeO content in slag on the sulfur refining efficiency.

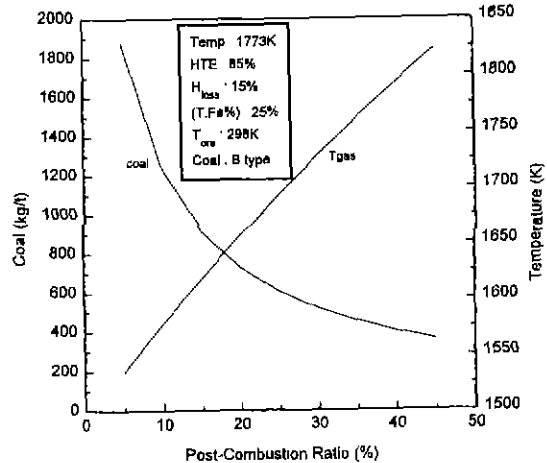


Fig. 8. The effect of PCR on the coal consumption and off gas temperature.

다(Fig. 9). 따라서 내화재 사용 온도인 1600°C의 온도 유지를 위해서는 약 85% 내외의 HTE의 확보가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 고2차 연소 기술에는 HTE의 증가 기술을 필수로 하고 있음을 알 수 있다. 높은 PCR과 HTE은 슬래그 Foam과 밀접한 관계가 있으며, Foam 내부에서 2차 연소된 에너지는 95% 이상 회수되는 것으로 보고되고 있다.⁷⁾ 그러나 과도한 슬래그 Foam의 유지는 용융로의 유효 용적 감소 및 Slopping등의 이상 조업을 야기시킬 우려가 있으므로 슬래그 Foam을 적정 수준으로 유지하기 위한 교반력의 강화 및 슬래그상 내에 20% 이상의 석탄을 파밍 잔존시키는 제어 기술이 요구된다.^{8,12)}

그러나 동일한 강속 교반력 상태에서 PCR이 증가할수록

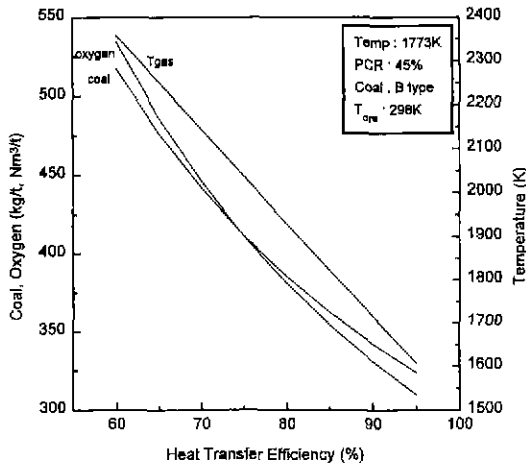


Fig. 9. The effect of HTE on the coal, oxygen consumption and gas temperature

HTE가 일정 수준을 유지하지만 2차 연소율이 50% 전후에서 석탄중 수소 성분의 휘발에 의한 수소 이용률의 저하에 의하여 PCR은 최대 50% 정도로 될 것으로 보고되고 있다.⁹⁾

Fig. 10은 열 손실의 효과들 나타낸 것으로 열 손실이 증가할수록 2차 연소와 관계없이 모두 석탄 소모량이 크게 증가시키고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 열 손실율은 공정의 처리 능력과 반비례 관계가 있는 것으로 열 손실의 최소화를 위한 일정 이상의 Capacity의 확보가 중요한 요소가 될 것이다.

본 공정은 전기로 슬래그를 산성계 폐연와로서 염기도를 조절하여 동시에 용융 처리할 수 있는 이점 이외에도 일반 전기로에서 사용이 곤란한 저급 고철을 동시 처리함으로써 고철 청정화와 열효율 향상을 이룩할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 11은 고철 혼합에 따른 석탄 및 전기로 슬래그 처리량의 변화를 나타낸 것으로 고철 혼합비가 증가함에 따라 슬래그 처리량이 감소하고 석탄 소모량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 석탄 소모량이 증가하고 있는 이유는 고철의 승온열이 소요되고, 상대적인 슬래그 처리량이 감소하고 있기 때문이다.

저급 고철을 광석과 동시에 용융원인 처리는 용선과 혼합을 통한 저급 고철을 청정 용선화 함으로서 현재의 고철 사용 품질의 한계를 극복시킬 수 있음이 주목된다. 알루미늄 드로스는 금속 알루미늄이 10~45% 정도 포함된 폐기물로서 재용융을 통한 재활용시에도 알루미늄의 낮은 비중으로 인하여 슬래그중 금속 알루미늄이 다량 포함되고 있어 매립시 수화, 산화 등에 의한 문제점이 지적되고 있다. 이러

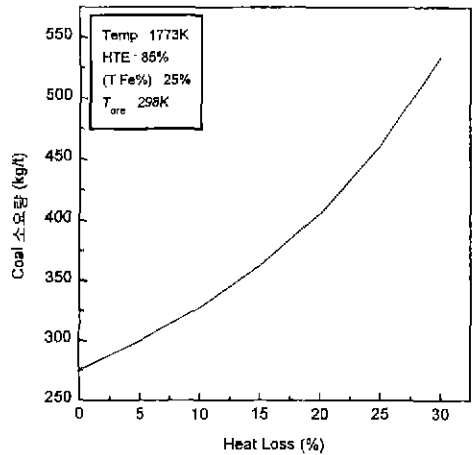


Fig. 10. The effect of heat loss on the coal consumption

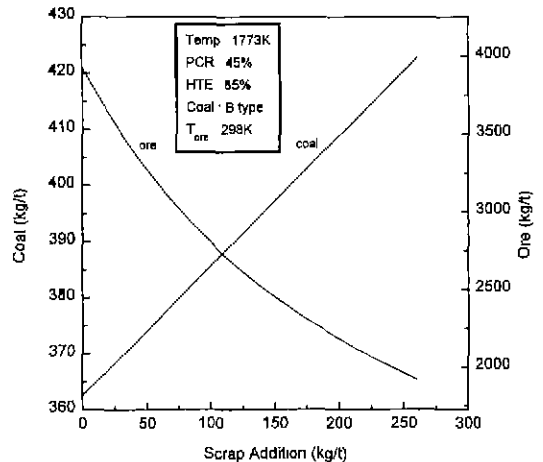


Fig. 11. The effect of scrap utilization on the material consumption.

한 저급 드로스는 석탄과 같이 고체 환원제로서 활용하는 경우, 석탄 소모량뿐만 아니라 메가스 감소 및 폐기물의 무해화를 동시에 이룰 수 있을 것으로 추정된다.

Fig. 12, 13은 알루미늄 드로스 첨가량과 드로스중 금속 알루미늄 농도의 영향을 나타낸 것으로 드로스중 금속 알루미늄의 함량과 첨가량이 증가할수록 석탄과 소모량이 동시에 감소하고 있어서 폐기물을 이용한 에너지 효율의 극대화를 이룩할 수 있을 것으로 추정된다.

용선 1톤당 드로스의 10 kg를 첨가함에 따라 석탄과 산소를 각각 10 kg/t-slag, 10 Nm³/t-slag 정도를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 메가스 처리량도 20 Nm³/t-slag 정도를 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

본 공정은 원료로서 모두 고유점 산업 폐기물인 전기로

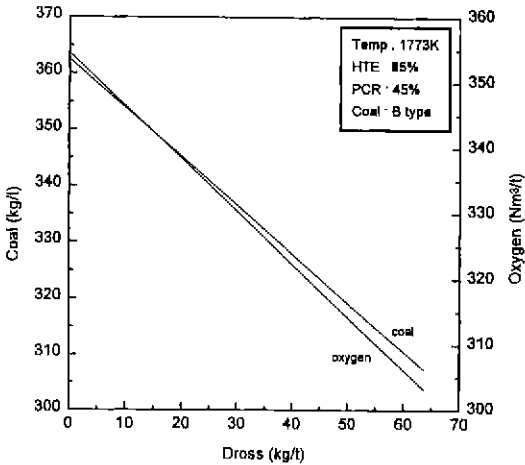


Fig. 12. The effect of dross addition on the coal and oxygen consumption.

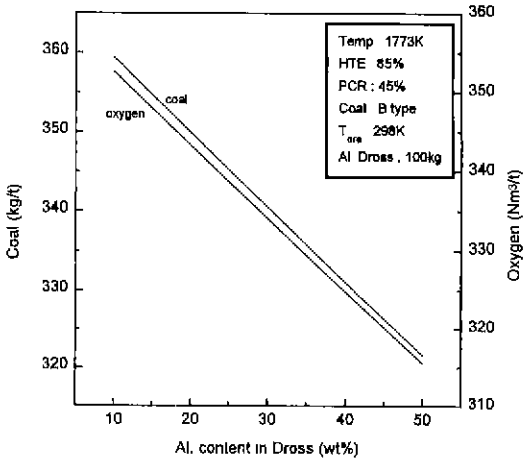


Fig. 13. The effect of dross quality on the coal and oxygen consumption.

슬래그, 드로스 고철, 산성계 폐연와 및 병류 등을 활용하여 용융 처리함으로써 용선과 시멘트, 노반재용 슬래그 그리고 가스화 등으로 무해 자원화 되고 있음을 알 수 있다. 이때 연료인 석탄에 대해서도 코크스 공정에서 발생하는 코크스 분진과 같은 부산 폐기물의 사용을 고려한다면 산소를 제외한 모든 원료가 고융점 산업 폐기물로서 용선과 슬래그, 가스 등의 자원화를 통한 경제성과 효율성을 확보할 수 있을 것으로 생각된다.

용선은 고로 용선과 유사한 조성으로서 전기로 및 주물의 철원으로 사용 가능할 것으로 사료되며, 슬래그는 CaO-SiO₂-Al₂O₃계의 고로 슬래그와 유사한 조성을 유지함으로써 시멘트 원료, 노반재 등으로 자원화할 수 있을 것으로 추정

된다. 배가스는 약 1100 kcal/Nm³의 가스 열량을 나타내고 있으므로 열병합 발전, 스팀 발생 등으로 활용함으로써 전체적인 경제성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

산업계의 처리 곤란한 공정계 폐기물인 슬래그, 드로스, 석탄계 분진, 산화물계 폐기물인 산성계 내화재, 병류, 그리고 금속계 폐기물인 고철을 기본 원료로 하는 효율적인 무해 자원화 방안으로 용융환원공정을 고려하여 물질 및 에너지 수지에 관한 전산 모델을 수립하여 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용융환원 처리시 석탄과 산소 소모량은 전기로 슬래그의 공급 온도와 2차 연소율이 증가할수록 감소하였으며, 특히 전기로 슬래그의 현열 이용은 매우 효과적이었다.
2. 연료로서 일반탄과 코크스 분진을 동시에 검토한 결과, 일반탄의 경우 석탄중 수소 성분의 유효 이용을 위해서는 2차 연소 효과가 크게 나타내고 있는 반면, 코크스의 경우에는 의존도가 낮고, 소모량도 가장 적었다. 따라서 코크스를 사용함으로써 2차 연소와 HTE 향상에 필요한 기술 소요를 최소화할 수 있었다.
3. 용선 품질의 경우, 석탄 소모량에 미치는 용선 온도와 탄소 농도의 영향을 검토한 결과, 탄소 농도보다는 용선 온도의 영향이 크게 나타났다. 용선중 황의 농도를 평형론적으로 검토한 결과, 고로와 유사한 수준인 0.01% 정도가 될 것으로 추정되었다.
4. 높은 2차 연소의 적용을 위해서는 그에 따른 배가스 온도 감소와 내화재 보호를 위하여 HTE를 85% 이상 유지할 필요가 있었다.
5. 고철을 고온 전기로 슬래그와 동시에 처리함으로써 석탄 소모량의 큰 증가 없이 용융처리 가능케 함으로써 고철의 청정 용선화가 가능하였다.
6. 본 공정은 제철소에 발생하는 석탄계 분진, 산성계 폐연와, 전로슬래그, 철계 폐기물인 고철 등으로 구성된 난용융성 폐기물을 동시 용융환원 처리함으로써 용선과 재활용 가능한 저염기도의 슬래그를 제조함으로써 지금까지 처리 곤란한 폐기물을 근본적으로 자원화할 수 방안을 도출할 수 있었다.

후 기

이 논문은 1995년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비

에 의해 연구 되었습니다 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. S. Miyoshi : Tetsu-to-Hagane, 81(2), 534, (1995).
2. 김태동, 백찬영, 조종민 : 자원리사이클링, 4(1), 60, (1995).
3. F. Oesters and A. Saatic : Process. Technology Proc. of ISS, 6, 1021.
4. Ibid : Stahl and Eisen Report., M(1987), Stallaisen mbH
5. M. Tokuda . Shenyang Int'l. Symp. on Smelting Reduction, Chinese Soc. of Metal, Sept. (1986).
6. 한국자원리사이클링학회 : 일본제철소의 환경개선 대책조사, (1996)
7. O. Kubaschewski and C. B. Alcock : "Metallurgical Thermochemistry", 5th Ed, Pergamon Press, (1979).
8. J.A. Innes, J.P. Moodie, I.D. Webb and K. Brotzmann : 7th Process Technology Proceedings of ISS. 7, 225.
9. H. Katayama, M. Kuwabara, H. Hirata and T. Izawa : International Conference on New Smelting Reduction and Net Shape Casting Technologies for Steel, The Korean Inst. of Metal and Inst. of Metal, UK, 1, 297, October. (1990)
10. T. Ibaraki, M. Kanemoto, S. Ogata, M. Matsuo, H. Hirata and H. Katayama : International Conference on New Smelting Reduction and Net Shape Casting Technologies for Steel, The Korean Inst. of Metals and Inst. of Metal, UK, 1, 351, October, (1990).
11. D. B. Anthony and J. B. Howard : AIChE Journal, 22, 625, (1976)
12. Shinotake : CAMP-ISIJ, 4, 41, (1991).

광 고

本 學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽 價格 : 20,000원
(International Symposium on East Asian Recycling Technology)
- 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽 價格 : 15,000원
- 학회지 합본집(1996) 價格 : 30,000원
(1992~1994년 까지의 학회지를 합본, 통권 제1호~제10호)
- 한 일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽 價格 : 30,000원
- 한 미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽 價格 : 15,000원
- 자원리사이클링 총서I (1997년 1월) 311쪽 價格 : 18,000원