

제철 소결 공정에서 추가 가스 연료 주입에 따른 영향

이영현* · 최상민** · 양원** · 조병국***

Effect of Additional Gaseous Fuel in Iron Ore Sinter Process

Younghun Lee*, Sangmin Choi**, Won Yang**, Byungkook Cho***

ABSTRACT

In the iron ore sinter process, temperature distribution pattern in sintering bed is related with productivity and quality of sintered ore. Evenly heat distribution make the uniform quality of sintered ore but in normal operating condition, upper part of bed has lack of heat and scarce quality of sintered ore, thus yeild rate is decreased and productivity is diminished. Therefore, using the additional fuel in the upper part of bed is considered and effect of fuel is discussed. (max. 80 words)

Key Words : Iron ore sintering, Fixed bed combustion, Additional gaseous fuel

제철 공정에서 소결은 작은 분말 형태의 철광석분을 고로에 장입할 수 있는 괴성광으로 만드는 데 사용된다. 철광석 입자의 크기를 키우기 위해서는 입자 표면이 용융되어 입자간의 결합이 일어나 치밀화 되는 과정이 필요하다. 이를 위해 열원으로 고체 연료인 코크스가 사용되고, 매우 미세한 분말이 소결공정에 사용될 경우 코크스 연소에 필요한 공기가 제대로 공급되지 않으므로 비교적 균일한 입자 크기를 가지는 의사입자를 만드는 과정이 선행된다. 의사입자를 만드는 과정은 원료에 물을 첨가하여 큰 입자 표면의 요철에 미세한 입자가 달라붙게 하고 압축하여 생성하게 된다. 이렇게 생성된 입자의 크기 분포는 비교적 균일해 지고 약 3mm크기로 소결 베드에 장입된다.

Fig. 1은 일반적인 제철 공장에서 사용되는 소결 공정을 나타낸 그림이다. 위쪽에는 소결기에 장입되는 의사입자를 형성하는 과정을 도시하였다. 소결 공정에 사용되는 원료의 80%는 철광석으로 열원으로 사용되는 코크스 5%와 석회석 등을 드럼에서 물과 함께 섞어줌으로써 의사입자를 형성하게 된다. 형성된 입자는 순환식 화격자에 장입되어 약 60cm 높이로 층을 형성하고 레일을 따라 이동하게 된다. 베드 내부의 코크스는 직화식 버너에 의해 베드의 표면에서 착화되고 베드의 하부로 화염이 이동하게 된다. 산화제로는 공

기를 사용하고 베드 내부에서의 공기의 흐름은 베드 상부에서 하부로 흐르게 되고 이를 위해 베드 하단에 흡인 팬을 장착하였다. 베드에서 코크스 연소가 이루어지는 구간에서는 고온의 온도 분포를 보이게 되고 그림 내에서는 음영으로 표시하였다. 베드 내에서 나타나는 온도 분포의 특징은 하부에 고온의 열이 집중되는 점이라 할 수 있다. 베드의 통기성은 연소가 하부로 진행 될수록 더욱 커지게 된다. 이는 입자의 크기가 커지면서 베드 내부의 기공이 커지게 되기 때문이다. 따라서 베드의 연소대가 하부로 진행이 될수록 베드에 하류에서는 상류에서보다 주입되는 공기의 양이 증가하고 코크스의 연소속도도 빨라지게 된다. 이러한 특징으로 인하여 베드의 하부에서는 비교적 입자 크기가 큰 소결광이 생산되고 상부에서는 작은 크기의 소결광이 생산된다. 생성된 소결광은 파쇄 및 크기 선별 과정을 통해 5~75mm의 분포를 가진 입자가 고로에 투입되고 이보다 작은 입자는 소결 공정으로 재순환된다.[1]

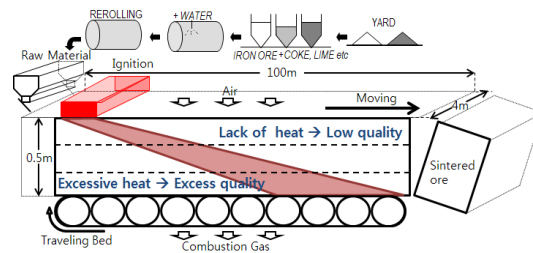


Fig. 1 Schematic diagram of sintering process in the steel industry

* Department of Mechanical Engineering, KAIST

** KITECH

*** Process Solution Research Group, POSCO

† E-mail : smchoi@kaist.ac.kr

Tel : (042)350-3030 FAX : (042)-350-3210

베드내 온도의 불균형한 분포로 인하여 상부의 소결광의 수율은 하부의 소결광에 비하여 떨어지게 된다. 상부의 수율을 높이기 위하여 고체연료를 추가로 주입하게 될 경우, 하부에서 불필요한 열집중으로 인하여 고체 연료의 효율이 떨어지고 하부 소결광의 품질에도 영향을 주게 된다. 따라서 하부에는 영향을 최소화 하면서 상부에 부족한 열을 보충하기 위한 방법으로 추가 가스 연료 주입 공정이 고려되었다.[2]

추가 가스 연료의 농도는 매우 희박하게 주입하게 된다. 따라서 고온인 약 1300K에서 가스 연료의 연소가 시작하게 되고, 이는 베드내에서 고온영역 윗부분에서 연소가 이루어짐을 의미한다. 상부에 부족한 열을 보충하기 위해서는 상부에서 가스연료의 연소가 이루어져야 하므로 상부에 고온 영역이 존재하는 상류에 가스 연료를 주입하였다.

가스 연료 주입 공정은 이전에 개발되어진 1-D 비정상상태를 다루는 수치해석 모델을 사용하여 해석을 하였다.[3] 모델에 대한 지배방정식과 서브모델에 대하여 간략하게 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Major parameters of the calculation

General		1-D unsteady
Consideration of solid material		Homogeneous porous media, Multiple solid phases
Governing equations		Mass, energy, and species conservation for each phase
Sub-models	Heat transfer	Conduction/convection/radiation heat exchange between solid and gas phases
	Solid-gas reactions	Drying, Pyrolysis Char combustion/gasification
	Gaseous reactions	CO combustion
	Geometrical changes	Particle shrinkage by reactions, Generation of internal pores, Porosity changes

가스 주입 공정은 상부에 부족한 열을 고체 연료가 아닌 가스연료를 통해 보충함으로써 베드내부에 열균형을 이루는 것을 목적으로 하고 있다. 추가의 연료가 공급되는 것이기 때문에 기존에 사용하는 고체 연료의 량을 줄이더라도 공정에 필요한 열을 공급할 수 있게 된다. 따라서 베드내에 주입하는 고체연료의 량을 감소하고 이를 가스연료를 통해 보충하는 공정의 특성을 이해하기 위하여 다음의 Table 2와 같이 케이스를 선정하였다. 기본적으로 각각의 케이스에서 가스연료를 주입하는 구간은 베드의 상류로 결정하고 주입하는 구간의 길이는 전체 베드의 1/3에 해당

하는 450s로 결정하였다. 따라서 해석 케이스에서 가스연료가 주입되는 구간은 200s ~ 650s로 결정하였다. 이 구간에서 감소한 코크스의 연료를 대체하여 가스 연료를 주입하기 위해 주입되는 가스의 농도를 바꾸어 주입되는 가스 연료의 열량을 결정하였다. 해석에서 코크스의 열량은 2 6.27 MJ/kg이고 가스 연료는 메탄을 사용하여 5 9.45 MJ/kg으로 하였다. 해석상에서 가스 연료의 연소는 1200K이상에서 일어나는 것으로 가정하였다.[4]

Table 2 Calculation cases

Case name	Reduced Coke(%)	Replaced Gas Fuel(%)	Concentration of gas fuel(%)
Reference	0	0	0
10-25%	10	25	0.79
10-50%	10	50	1.57
20-25%	20	25	1.57
20-50%	20	50	3.12

Fig. 2은 각 케이스별 베드내의 온도분포를 나타낸 그래프이다. 그래프의 가로축은 시간축으로써, 실제 공정에서 일정한 속도로 이동되는 베드의 움직임을 1-D unsteady 해석결과에서 시간의 흐름으로 대체하여 결과를 표현 하였다. 베드의 온도 분포는 비교적 흰색으로 표현된 구간을 기준으로 온도가 높은 구간은 철의 용융이 일어나는 1300K 이상의 고온 구간이고, 바깥부분 중에서 1000K 이상의 구간은 베드내 고체연료인 코크스의 연소가 이루어지는 구간이다. 그리고 실선으로 표현된 200s ~ 650s 구간은 가스연료를 주입한 구간이다. 대략적으로 표현된 이 그림에서는 베드내 코크스 함량을 줄였을 때 나타나는 현상과 가스연료의 영향을 살펴 볼 수 있다. 코크스의 양이 줄어들어 약 800s 이후 가스 연료의 주입의 영향이 사라진 구간에서 베드내 1600K 이상의 고온 영역이 줄어들어 것을 확인 할 수 있고, 가스 연료의 주입을 통하여 주입 구간에서의 고온영역이 확대되는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 온도 영역의 변화를 더욱 자세히 확인하기 위하여 위치별 온도 분포를 확인하였다.

Fig. 4는 베드의 상부 즉, 높이가 49cm인 구간에서 시간에 따른 온도 분포를 도시한 그래프이다. 이 그래프에서 살펴보아야 할 것은 고온 즉 철광석의 용융이 일어나는 1300K 이상의 고온을 유지하는 시간이다. 모든 케이스에서 코크스의 양을 줄였음에도 불구하고 고온을 유지하는 시간

은 기본 케이스와 비교하여 늘어난 것을 알 수

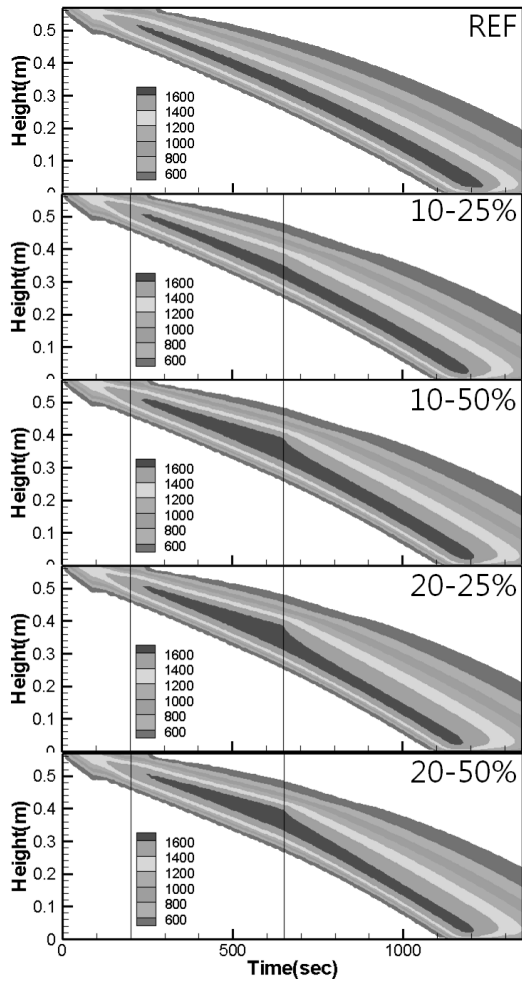


Fig. 2 Temperature distribution in the bed

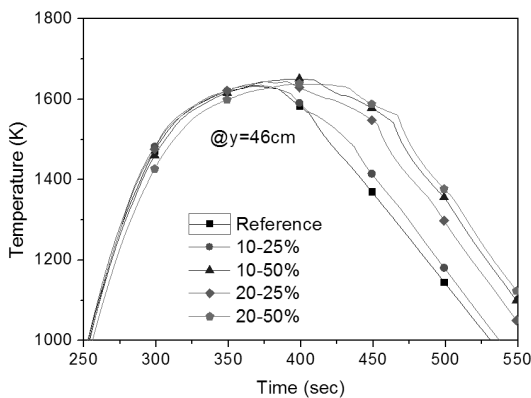


Fig. 3 Temperature history diagram at the upper part of the bed

있다. 이것은 가스연료의 연소가 상부에서 이루어

어짐으로써 상부에 부족하였던 열을 유지시켜 준

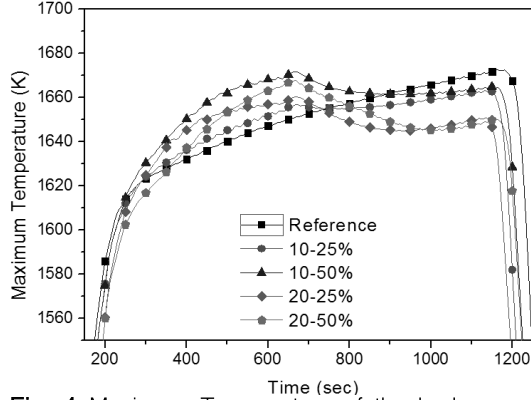


Fig. 4 Maximum Temperature of the bed

것을 확인 할 수 있다. 이때 고온을 유지한 시간은 베드 상부임에도 불구하고 기본 케이스의 베드 하부에서의 고온을 유지한 시간과 비슷해짐을 알 수 있다. 이를 통해 가스 연료 주입으로 인해 상부의 소결광 품질이 증가된 것을 알 수 있다. 그리고 각 케이스를 살펴보았을 때, 10-25%, 10-50% 케이스의 고온유지 시간의 차이가 20-25%와 20-50% 케이스일 때보다 보다 더욱 차이는 것을 확인 할 수 있다. 이는 일정 이상의 가스 연료를 주입하더라도 더 이상의 품질향상을 기대할 수 없는 임계점이 존재하고 가장 효율적으로 상부의 품질을 향상시킬 수 있는 가스 연료 주입량의 최적점이 존재하는 것을 암시한다.

Fig. 4 는 각 시간에서 베드내에 최고온도를 나타낸 그래프이다. 이 그래프를 통해서 각 시간에서 가장 온도가 집중된 구간의 높이는 알 수 없지만 열이 집중된 정도를 간접적으로 확인 할 수 있다. 즉, 베드의 연소가 어느 정도로 활발히 이루어지는지 알 수 있다. 상기 그래프에서 가스 연료를 주입한 200s ~ 650s 구간에서는 기본 케이스보다 최고 온도가 높아짐으로써 기본케이스의 베드 하단에서 온도와 비슷해짐을 알 수 있다. 그리고 코크스가 줄어드는 효과는 가스연료를 주입하지 않은 800s 이후에 기본 케이스보다 최고온도가 낮아지는 것으로 확인 할 수 있다. 즉 상부에는 부족한 열이 보충되고 하부에서는 불필요하게 과잉되었던 열을 줄이었다. 이 경우에도 가장 이상적인 온도의 그래프는 비교적 적정한 열이 집중된 베드 중부의 최고온도라 할 수 있는 기본 케이스의 600s ~ 700s 구간의 최고 온도를 유지하는 것이라 할 수 있다. 따라서 베드내 고체연료인 코크스의 저장량과, 주입되는 가스 연료의 량의 최적점을 찾기 위한 연구가 진행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 POSCO 기술 연구소와 한국과학기술원 가치제조기계사업단 (BK21)의 지원을 받아 이루어졌습니다.

참고 문헌

- [1] H. Toda, K. Kato, "Theoretical Investigation of Sintering Process" Trans. Iron Steel Inst. Jpn., Vol. 24, 1984, pp. 178-186.
- [2] N. Oyama, Y. Iwami, T. Yamamoto, S. Machida, T. Higuchi, H. Sato, M. Sato, K. Takeda, Y. Watanabe, M. Shimizu, K. Nishioka, "Development of Secondary-fuel Injection Technology for Energy Reduction in the Iron Ore Sintering Process" ISIJ Int. Vol.51, 2011, pp. 913~921.
- [3] W. Yang, C. Ryu, S. Choi, E. Choi, D. Lee, W. Huh, "Modeling of Combustion and Heat Transfer in an Iron Ore Sintering Bed with Considerations of Multiple Solid Phases", ISIJ Int. Vol.44, 2004, pp. 492-499.
- [4] C. Robinson, D.B. Smith, "The auto-ignition temperature of methane", Journal of Hazardous Materials. Vol. 8, 1984, pp. 199-203.