

자용 동제련 공정의 최적화에 관한 연구

조석연, 서경원
아주대학교 화학공학과

A study on the Optimization of a Flash Smelting Process for Copper

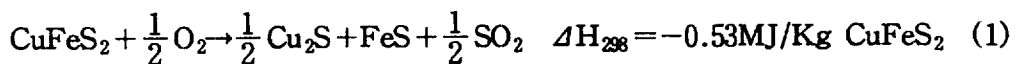
Seok Yean Cho, Kyung Won Seo
Department of Chemical Engineering, A-Jou Unvi.

서론

현재 세계에서 가장 많이 채택된 자용공정법을 이용한 Outokumpu공정은 다량의 에너지를 사용하는 에너지 집약적 연소공정이지만 최적의 생산성을 얻기 위한 공정조건이 확립되어 있지 않으며 경험적 지식과 고정된 운전조건만을 토대로 공정이 운전되고 있으므로 에너지 절약 측면에서의 구리 제련공정의 최적화를 위한 시뮬레이터 개발에 관한 연구가 필요하다.

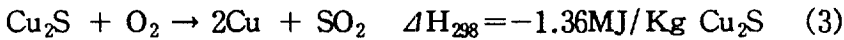
이론

구리 자용제련로에 들어가는 주요 원료는 건조된 구리 농축물(concentrate), 실리카 flux, 기체의 산소원등으로 구성되고, 탄화수소 연료는 열을 보충하기 위해 공급 되어진다. 구리 농축물은 산소와 발열반응을 일으켜 액체 matte상과 slag상, 기상의 고농도 이산화황을 생성한다. 자용 제련로안의 구리 농축물중 주요성분인 Chalcopyrite(CuFeS_2)는 다음과 같이 산화반응한다.





이 발열반응은 자용제련 생성물의 용융에 필요한 충분한 열 에너지를 제공한다. Cu_2S 와 FeS 는 완전히 섞여 자용 제련로 안에서 액체 matte상을 형성하는데 Cu_2S 는 FeS 가 더 잘 산화되기 때문에 자용 제련로 안에서 산화되지 않는다. 식 (2)는 로(furnace)로 들어오는 산소의 양에 의해 진행정도가 제한되고, 생성된 산화철은 matte와 섞이지 않고, 밀도가 낮아 matte 위에 떠 있는 액체 slag상의 형태로 실리카와 함께 흐른다. 또한 자용 제련로의 off-gas에는 SO_2 , N_2 , CO_2 , H_2O 등이 포함되어 있고, 생성된 생성물은 다음 공정인 전환로(converter)와 산처리 공정으로 넘어간다. 넘어온 matte는 자용 제련로에서 시작되었던 식(2)의 황화철 산화반응과 다음 식(3)의 황화구리의 산화가 계속된다.



식(3)은 구리안에 황의 함량이 약 1%정도 남을때까지 반응이 진행되고, 산소의 공급이 중단되면 구리는 음극로에서 정제되어 진다.

off-gas의 주성분인 황은 산처리 공정에서 SO_3 로 전환되고, 이같은 제련 공정은 다음과 같은 flow diagram으로 요약될 수 있다.

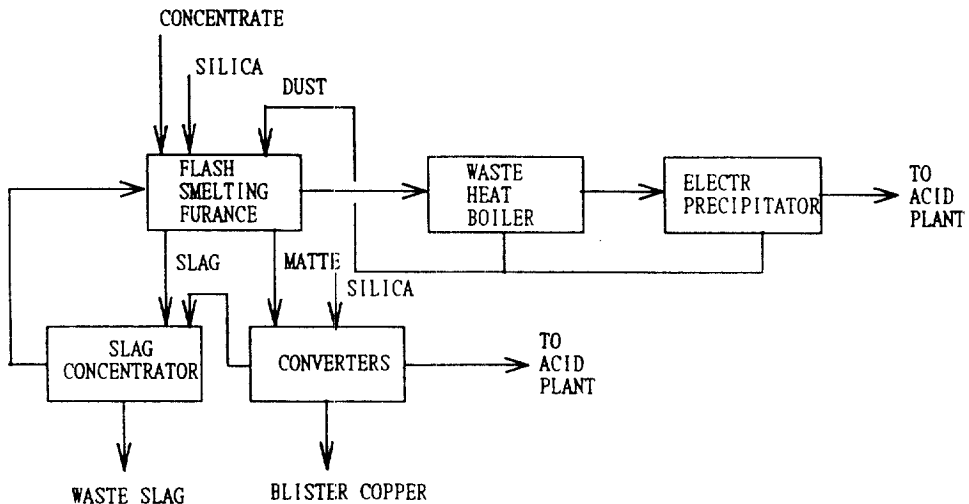


Fig. 1 Flow Diagram.

최적 모델화

본 연구는 일반화된 Outokumpu공정을 기본 모델로 하여 생산성을 극대화할 수 있는 구리 자용공정의 최적 조업조건을 산출하기 위한 시뮬레이터를 개발하는데 목적이 있다. 본 시뮬레이터는 Outokumpu공정을 모델로 하여 선형의 물질·에너지 수지 및 비용 방정식과 실제 조업에서 일어날 수 있는 여러가지 변화에 따라 구성되는 목적함수(total costs)를 포함하고 있다. 따라서 공정에 영향을 미치는 이러한 인자들로 구성된 수치모델을 통해서 목적함수가 최소가 될 수 있는 최적조건을 찾기 위해 선형 프로그램을 사용하였다.

한편, 실제 온산 동제련소의 조업조건에 맞게 수치모델을 수정하여 최적조건을 계산하고, 공정의 적합성 여부를 평가한다. 그리고 최적 조업조건으로의 변환시 기대되는 에너지 절감효과를 예측해 본다.

결과 및 결론

온산 동제련소(feed concentrate : 31.4% Cu)의 자용 제련공정을 모델로 하여 얻은 최적의 조업조건은 자용로(flash furnace)에서 나온 중간 생성물(matte)이 65%Cu였고(Fig. 2), 또한 이러한 자용로는 보조적으로 연료를 태워 열을 공급하지 않고 비예열된 53.4% O₂로 농축된 공기를 이용하여 자용적으로 진행된다(Fig. 3). 이러한 조건으로 조업되었을때 1994년 기준으로 하여 자용로(flash furnace), 전환로(converter), 산 생성공정에 요구되는 총 에너지 비용은 대략 \$ 9.22/ ton of conc. 이었다(Fig. 2).

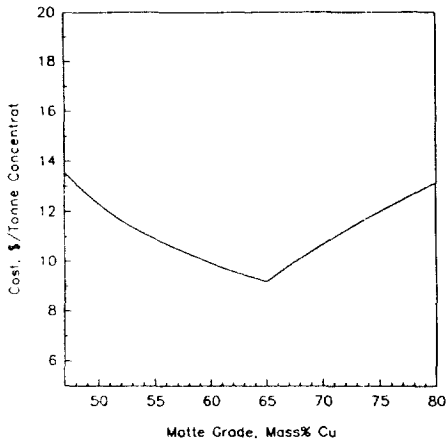


Fig. 2 The Effect of Industrial Oxygen on Fuel.

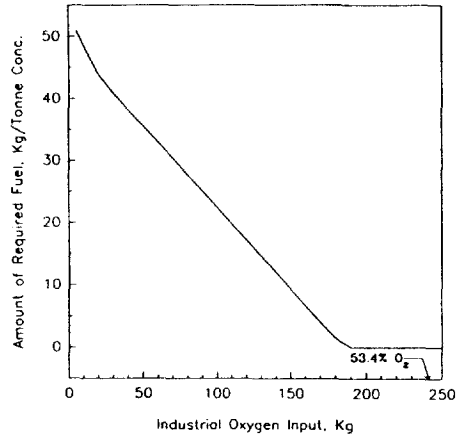


Fig. 3 The Effect of Matte Grade on Energy Costs.

참고문헌

1. R.J McClincy, C. Arentzen, and R.J. Wesely, "Commercial Implications of Direct Copper Smelting", in *Advanced in Sulfide Smelting*, H.Y. Sohn, D.B. George and A.D. Zunkel eds., 1, TMS-AIME, 1983, pp499-511.
2. J.K. Makinen, G.A. Jafs and T.P.T. Hanniala, "The Economics of Matte, White Metal, and Blister Production in a Flash Smelter," SME-AIME Fall Meeting, Honolulu, Sept. 1982.
3. P.C. Chaubal, "The Reaction of Chalcopyrite Concentrate in a Flash Furnace Shaft," Ph.D Dissertation, Univ. of Utah, 1986.