

코크스오븐의 탄화실내 장입탄 밀도 예측

김기홍, 이용국
포항산업과학연구원 에너지화성연구팀

Prediction of Charging Coal Bulk Density in a Coke Oven Coking Chamber

Ki-Hong Kim, Yong-Kuk Lee
Energy & Chemical Process Research Team, RIST

서론

근래에 많은 코크스로는 CMCP(Coal Moisture Control Process) 공정에 의해 장입탄의 수분을 6-6.5% 수준으로 맞추어 탄화실내로 장입하고 있으나, 갑작스러운 CMCP 공정의 trouble 발생시 장입탄 수분을 조절하지 못한 채 장입되어 장입탄의 양을 조절하는데 어려움이 있다. 코크스오븐내 장입탄의 장입밀도는 석탄의 수분함량과 입도에 따라 많은 변화가 있기 때문에 일정부피의 석탄을 장입하여야 하는 코크스로 조업 특성상 장입밀도는 중요한 문제이다. 또한 수분과 입도 데이터의 제공이 실시간으로 이루어지지 않아 연소관리의 효율성이 떨어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 코크스로에 장입되는 석탄의 수분과 입도데이터를 실시간으로 수집하여 코크스오븐내 장입 level을 일정하게 유지하기 위해 장입밀도를 예측하는 기술을 개발하고, 수분과 입도 데이터를 실시간으로 제공하는 연소관리시스템을 구축함으로써 코크스로 연소관리의 효율성을 증대시켜 배합 측면 이외의 조업측면에서 일반탄 사용증대에 기여하고자 한다.

본론

실험 장치 및 방법

배합탄의 장입밀도예측은 우선 실험실적으로 탄의 물리적 특성(수분,입도분포)변화에 대하여 측정을 하고 실험조건에 따른 장입밀도를 예측하는 과정을 거치고 실 장입밀도 보정은 현장 데이터를 근거로 수행하였다. 먼저 배합탄의 장입밀도는 Fig. 2와 같은 사양의 설비를 이용하여 측정하였다.

그림에 보는 바와 같이 장입밀도를 재기위해 우선 일정 무게의 시료를 깔대기모양의 용기에 채워둔뒤 높이 55cm상부에서 깔대기 하부의 게이트를 순간적으로 열어 자유낙하시키면 정육면체의 상자(부피:0.028m³)에 시료가 가득차게 된다. 상자에 쌓인 시료를 상자 높이가 만큼만 깎아낸후 상자와 시료의 무게를 잰후 상자 무게만을 빼고 난 무게를 상자 부피로 나누어 장입밀도를 결정하였다. 시료를 받쳐주는 통의 무게는 8.5kg이며 깔대기모양의 낙하전 사용시료의 양을 최적화시키기 위한 예비실험 결과 석탄을 25kg이상만 사용하면 장입밀도는 일정한 재현성을 갖는 것으로 확인 되었다. 따라서 낙하시키는 시료의 양은 전 실험에서 25kg으로 통일하여 사용하였다. 장입밀도에 영향을 가장 많이 미치

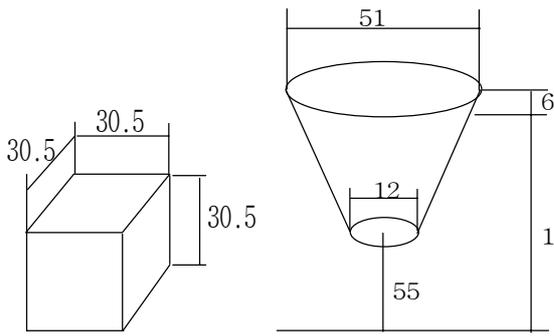


그림 1 장입밀도 측정장치

그림 2는 배합탄의 입도 및 수분 조건을 변화시키면서 장입밀도를 측정 한 결과이다. 측정 결과에서 알 수 있듯이 현 현장 조업조건 범위내에서는 수분이 낮을수록 3mm이하 입도분율이 높을수록 장입밀도는 낮아지는 것을 알 수 있다. 수분을

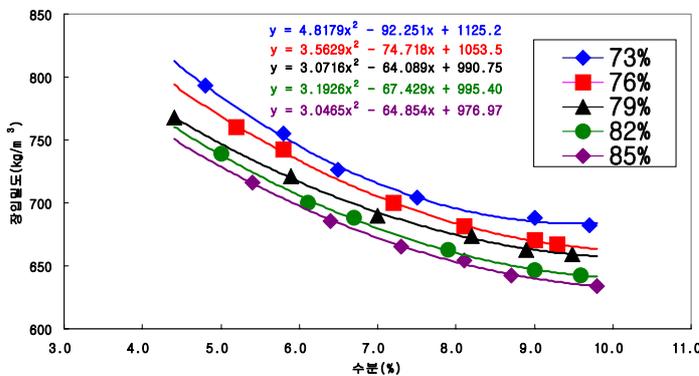


그림 2 수분 및 입도변화에 따른 장입밀도

거나 이상에서는 오히려 장입밀도가 상승하는 경향을 나타내고 있는데 본 연구에서 실험에 사용된 탄 함유 수분의 경우는 통상 CMCP조업하에서의 장입탄 수분함량 6-7%, CMCP 조업을 하지 않을 경우인 8-10%정도의 범위에서 측정 한 결과이다. 따라서 이 범위에서는 수분함량이 적을수록 장입밀도는 상승하는 경향을 나타내고 수분이 적을수록 상승하는 경향은 더욱더 가파르게 나타나고 있다.

장입밀도 예측식 도출

수분 및 3mm이하 입도분율 변화에 따른 장입밀도 예측 실험결과를 활용하여 장입밀도를 예측할 수 있는 식을 선형 회귀분석하여 구하였다. 회귀식 형태는 아래와 같은 선형식을 사용하였다.

$$\text{장입밀도}(y) = a_1 + a_2 \cdot x_1(\text{수분}) + a_3 \cdot x_2(\text{입도 3mm이하 분율})$$

여기서, a1, a2, a3는 선형회귀식 계수이다.

회귀분석에 의해 구한 계수의 값은 a1=1178.2, a2=-21.1, a3=-4.2였으며 실측치와 회귀식을 이용하여 구한 예측치를 Table 5에 나타내었다. 상관계수가 0.98로 상당히 좋은 결과를 나타내었다.

실험실에서 측정된 장입밀도값을 그대로 현장에 적용하기 위해서는 현장 데이터와의 편차를 보정해줄 필요가 있다. 또한 탄화실내 부위별 장입밀도는 각기 다르나 평균장입밀

는 인자로는 이론적 고찰 부분에서 언급 했듯이 배합탄의 수분과 입도이다. 따라서 본 실험에서는 배합탄의 수분 및 입도를 변화시켜가면서 장입밀도를 측정하는 실험을 수행하였다.

110 측정결과 및 고찰

장입탄의 입도변화는 현재 조업조건이 3mm이하 80±2%이기 때문에 실험범위를 3mm이하 73%, 76%, 79%, 82%, 85%의 다섯조건으로 나누어 실험을 수행하였다. 측정 결과에서 알 수 있듯이 현 현장 조업조건 범위내에서는 수분이 낮을수록 3mm이하 입도분율이 높을수록 장입밀도는 낮아지는 것을 알 수 있다. 수분을 정확히 맞추면서 실험하기에는 어려운 점이 있기 때문에 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%근처에서 맞추어 실험하려고 노력했다. 측정결과에서 보면 입도의 영향 보다는 수분의 함량변화가 장입밀도에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 현장에서 입도를 변화시킬 수 있는 범위가 한정되어 있기 때문이다.

일반적으로 수분이 7-9%정도에서 장입밀도가 최소로 되고 그 이하이

도를 사용하여 보정을 하였다. 여기서 평균 장입밀도는 탄화실 한문당 장입된 장입탄무게를 장입된 부피로 나눈값을 의미한다. 현장데이터와의 비교를 위해서 현장 A코크스 공장의 배합탄의 장입밀도를 측정하였다. 배합탄의 조건과 측정결과는 Table 1과 같다.

위 결과에서 알 수 있듯이 실험실적 방법으로 측정한 결과로 수분 및 입도변화에 따른 장입밀도 예측식에 의해 구한 결과와 잘 일치함을 보이고 있으며 현장값 보정을 하면 충분히 활용 가능하다고 판단된다.

Table 1. 현장 배합탄의 장입밀도 측정결과

수분	장입밀도(실측)	장입밀도 (회귀식 예측)	배합탄조건
6.6% 6.8%	690.7 kg/m ³ 686.8	691.6 kg/m ³ 687.4	입도측정결과 3mm이하분율 : 82.7%

현장 데이터를 이용한 보정은 Table 1.의 실험조건과 유사하여 수분 변화량에 따른 현장 장입밀도 데이터와 비교하여 장입밀도 예측식을 보정하였다. Table 2.은 예측식을 이용하여 구한 값과 같은 장입탄을 실제 코크스오븐에 장입했을때의 장입밀도를 비교한 결과이다.

Table 2. 예측식에 의한 장입밀도와 현장 데이터와의 편차비교

수분	장입밀도 예측	현장 장입밀도	편차	입도조건
6.1% 6.7% 7.9% 9%	700 kg/m ³ 688 663 647	818 kg/m ³ 818 798 720	132 130 135 73	3mm이하 82-83%

따라서 실험실적으로 장입밀도 예측식은 다음식과 같이 보정하면 실제 현장 장입밀도를 예측할 수 있다.

실장입밀도(y)=보정계수(c)*(1178.1-21.1*장입탄수분-4.2*장입탄입도(3mm이하분율))
여기서 보정계수는 장입탄 수분 함량이 6-8%일때 1.18이고 8%이상일때는 1.11이다.

장입탄 수분 및 입도 자동측정시스템 설치 및 실험결과

위에서 구한 장입탄 밀도 예측식을 실제로 활용하기 위해서는 장입탄의 수분 및 입도를 실시간으로 측정할 수 있는 시스템을 갖추어야한다. 따라서 본 연구에서는 수분의 경우에 마이크로파를 이용한 수분 자동측정시스템을 장입차 호퍼 하단에 설치하여 수분 데이터를 취득하고, 입도 데이터는 장입탄이 수송되는 컨베이어베트상에서 시료를 자동 샘플링한 후 레이저를 이용한 건식 입도분포 측정 시스템을 설치하여 데이터를 얻었다. 그림 3.와 그림 4.은 측정시스템의 개략도이다.

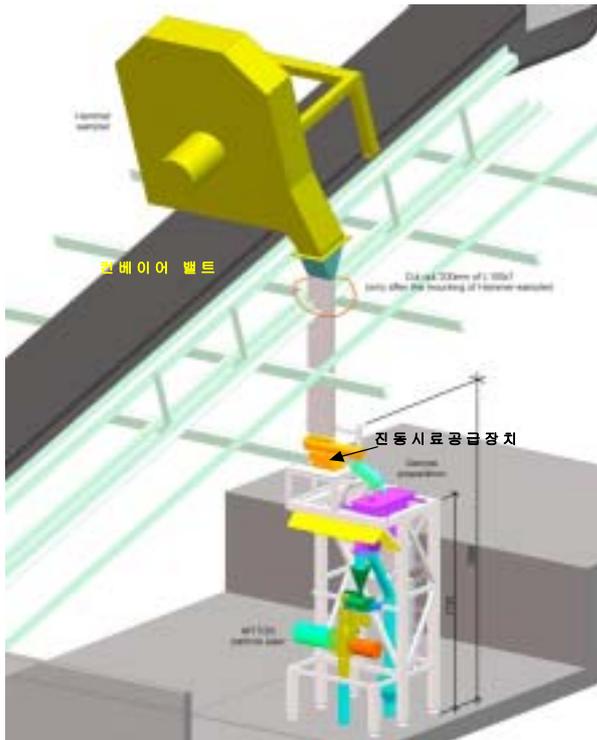


그림 4. 입도 자동분석시스템 설치개략도

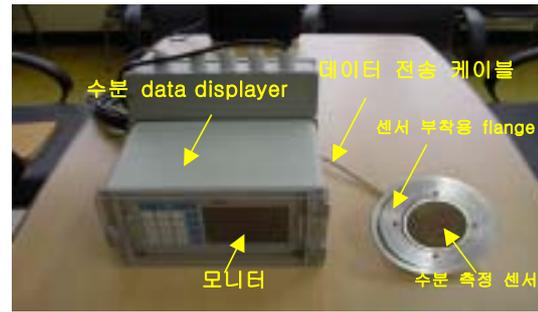


그림 3. 수분 자동측정시스템

입도 자동분석시스템은 장입탄의 입도를 자동분석한 후 잔여시료는 공정내로 자동 투입되고 측정데이터는 자동으로 운전실내 위치한 데이터 관리컴퓨터로 전송되게 되어있다. 본 입도 분석시스템은 석탄 입자 크기가 최대 8mm 까지 분석이 가능하다.

결론

1) 코크스오븐에 장입되는 배합탄의 장입밀도는 수분과 입도분포에 가장 큰 영향을 받게 되며, 수분 5-10%, 입도(3mm이하 분율) 73-85% 범위에서 실험실적으로 측정된 데이터를 활용하여 현장의 오븐 상황을 고려하여 다음과 같은 장입밀도 예측식을 도출하였다.

$$\text{실장입밀도}(y) = \text{보정계수}(c) * (1178.1 - 21.1 * \text{장입탄수분}(x_1, \%) - 4.2 * \text{장입탄입도}(x_2, 3\text{mm 이하분율} \%))$$

여기서 보정계수는 장입탄 수분 함량이 6-8%일때 1.18이고 8%이상일때는 1.11이다.

2) 배합탄의 입도분포를 on-line상에서 측정할 수 있는 시스템을 실제 코크스로에 설치 하였으며, 설비의 구성은 배합탄 이송용 컨베이어 벨트상에서 배합탄을 자동으로 샘플링 할 수 있는 hammer sampler, 샘플링된 시료의 입도분포를 자동으로 분석하는 분석기와 데이터를 분석, 가공 처리하고 시스템을 자동제어할 수 있는 컴퓨터시스템으로 이루어져 있다. 시스템의 tset 결과 체분석(수동측정)결과와 2% 정도의 오차를 나타내어 실 활용에는 문제점이 없을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Robert H. Lux and Alan D. Strauss : Ironmaking Conference Proceedings 1996,p515
2. F. Huhn, F. Strelow, W. Eisenhut(DMT), La Revue de Metallurgie,1992 p635