(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0011434
(43) 공개일자 2012년02월08일

(51) Int. Cl.
C21B 5/00 (2006.01) *C21B 7/20* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0073215
(22) 출원일자 2010년07월29일
심사청구일자 2010년07월29일

(71) 출원인
현대제철 주식회사
인천광역시 동구 송현동 1-10
인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교
(72) 발명자
오한상
제주특별자치도 제주시 오라3동 2330-11
박종인
인천광역시 남구 소성로103번길 21-30, 대성주택 가동 202호 (학익동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법

(57) 요 약

본 발명은 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법에 관한 것으로,

장입물의 호퍼 출구 속도를 계산하는 호퍼 배출속도 계산단계와;

장입물의 피더 스파우트 출구 속도를 계산하는 피더 스파우트 배출속도 계산단계와;

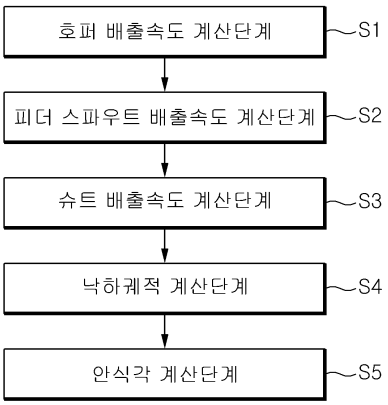
장입물의 슈트 출구 속도를 계산하는 슈트 배출속도 계산단계와;

상기 슈트 배출속도 계산단계에서 계산된 장입물의 슈트 배출속도를 이용하여 낙하 중 시간에 따른 장입물의 위치를 계산하는 낙하궤적 계산단계;

를 포함한다.

따라서, 낙하궤적과 낙하위치에서의 안식각을 계산할 수 있게 되어, 보다 효율적인 장입물의 분포 제어가 가능하다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

정훈제

서울특별시 서대문구 북아현로11사길 5 (북아현동)

한정환

경기도 성남시 분당구 정자일로 121, 더샵스타파크 103동 701호 (정자동)

윤호준

경기도 용인시 수지구 푸른솔로 56, 현대홈타운 4차 2단지 522동 1302호 (죽전동)

이영재

충청남도 당진군 송산면 송산로 765-18, 104동 1203호 (현대제철(주)독신자숙소)

특허청구의 범위

청구항 1

호퍼 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 호퍼 배출속도 계산단계와;

상기 호퍼 배출속도 계산단계에서 계산된 장입물의 호퍼 배출속도를 이용하여, 피더 스파우트의 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 피더 스파우트 배출속도 계산단계와;

상기 피더 스파우트 배출속도 계산단계에서 계산된 장입물의 피더 스파우트 배출속도를 이용하여, 슈트의 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 슈트 배출속도 계산단계와;

상기 슈트 배출속도 계산단계에서 계산된 장입물의 슈트 배출속도를 이용하여 낙하 중 시간에 따른 장입물의 위치를 계산하는 낙하궤적 계산단계;

를 포함하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 호퍼 배출속도 계산단계에서 장입물의 유량(G)은,

$$G=\frac{\pi}{4}\,\rho_s\, d_{eff}^{2.5}\, g^{0.5}\left\{\frac{1-\cos\beta}{2\sin^3\beta}\right\}^{0.5}$$

이고,

상기 호퍼 출구에서의 장입물 배출속도(V_{1v})는,

V_{1v} = G/A 인 것을 특징으로 하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법.

(G: mass flow rate(질량유량), kg/s

ρ_s: density of particles(입자밀도). kd/m^3

d_{eff}: effective diameter of the discharge orifice(오리피스 유효지름), m

g: accelation due to gravity(중력가속도), m/s^2

β: acute angle between the cone wall and the horizontal(호퍼 경사각), radian

A: 호퍼 출구 단면적,m^2)

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 피더 스파우트 배출속도 계산단계에서 장입물의 피더 스파우트 출구속도(V_{2v})는 $V_{2v} = [V_{1v}^2 + 2gH_d]^{0.5}K_f$ 인 것을 특징으로 하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법.

(V_{1v}, V_{2v} : velocity at the entrance and exit of the down comer, respectively(피더 스파우트의 입구와 출구의 속도), m/s

g: accelation due to gravity(중력가속도), m/s^2

H_d : height of feeder spout(피더 스파우트의 높이), m

K_f : correction factor for collisions(충돌보정팩터))

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 슈트 배출속도 계산단계에서 장입물의 슈트 출구속도(V_3)는

$V_3=[\omega^2\cos\alpha(\cos\alpha+\mu\sin\alpha)L^2+2g(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)L+(V_{2v}\sin\alpha)^2]^{0.5}$ 인 것을 특징으로 하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법.

(ω : angular velocity(각속도), radian/s

μ : Coefficient of friction between the particles and the chute surface(장입물 입자와 슈트 표면 사이의 마찰계수).

V_{2v} : velocity at the exit of the down comer(피더 스파우트 출구속도), m)

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 낙하궤적 계산단계에서 장입물의 시간에 따른 낙하중 위치는 장입물 입자의 수평, 수직 좌표(X,Y)로 이루어지고,

상기 좌표값(X,Y)은 $X = V_t\sin\alpha_s \cdot t$, $Y = V_t\sin\alpha_s \cdot t + \frac{gt^2}{2}$ 인 것을 특징으로 하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법.

(V_t : Particle velocity at the chute tip(슈트출구속도 즉, V_3), (cm/sec)

α_s : Angle between the main principal stress and the shear line(주응력과 전단라인 사이의 각도)

g: Accelation due to gravity(중력가속도), (cm/sec2))

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 좌표값(X,Y)를 시간에 따라 연속적으로 반복 계산하여 장입물의 낙하궤적을 산출하는 것을 특징으로 하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 낙하궤적 계산단계에서 산출된 낙하궤적으로부터 장입물의 낙하위치를 파악하고, 상기 낙하위치에서의 장입물의 안식각을 계산하는 안식각 계산단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 장입물의 안식각 중,

노 중심방향 안식각(α)은 $\alpha = A_{max} \times C \times \frac{D^{0.05}}{4 \times F_s^{0.05}}$ 이고,

노벽방향 안식각(β)은 $\beta = A_{max} \times C \times \frac{D^{0.05}}{4 \times F_s^{0.005}} \times \frac{\frac{d}{2} - X^{1.4}}{5.8}$ 인 것을 특징으로 하는 고로 장입물의 낙하궤적

산출방법.

(A_{mas} : 최대안식각(°), D : 입도(m), F_s : 형상계수, d : 고로입구지름(m),

X : 낙하시 수평위치, C : 상수)

청구항 9

슈트의 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 슈트 배출속도 계산단계와;

상기 슈트 배출속도를 이용하여 낙하 중 시간에 따른 장입물의 위치를 계산하는 낙하궤적 계산단계;

를 포함하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고로의 장입물 장입시, 장입물이 갖는 낙하궤적을 용이하고 정확하게 알 수 있도록 하는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 고로는 철광석을 녹여 용선(선철)을 제조하는 설비이다.

[0003] 고로에는 철광석과 코크스가 순차적으로 장입되어 적층되며, 하부의 풍구로부터 열풍을 불어넣어 코크스를 연소시키고, 이때 발생하는 열과 탄소에 의해 철광석을 용해 및 환원시켜서 비중이 높은 용선을 하부로 가라앉혀 출선한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 벨레스탑(Bell-less top) 장입장치를 이용하는 고로에 있어서 장입물의 낙하궤적(낙하 직후의 퇴적형태 포함)을 용이하고 정확하게 산출하여, 장입물 분포 제어에 유용하게 이용할 수 있는 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법을 제공함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은,

[0006] 호퍼 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 호퍼 배출속도 계산단계와;

[0007] 상기 호퍼 배출속도 계산단계에서 계산된 장입물의 호퍼 배출속도를 이용하여, 피더 스파우트의 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 피더 스파우트 배출속도 계산단계와;

[0008] 상기 피더 스파우트 배출속도 계산단계에서 계산된 장입물의 피더 스파우트 배출속도를 이용하여, 슈트의 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 슈트 배출속도 계산단계와;

[0009] 상기 슈트 배출속도 계산단계에서 계산된 장입물의 슈트 배출속도를 이용하여 낙하 중 시간에 따른 장입물의 위치를 계산하는 낙하궤적 계산단계;

[0010] 를 포함한다.

[0011] 또한, 상기 호퍼 배출속도 계산단계에서 장입물의 유량(G)은,

[0012] $$G=\frac{\pi}{4}\rho_s d_{eff}^{2.5} g^{0.5}\left\{\frac{1-\cos\beta}{2\sin^3\beta}\right\}^{0.5}$$ 이고,

[0013] 상기 호퍼 출구에서의 장입물 배출속도(V_{1v})는,

[0014] $V_{1v} = G/A$ 인 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한, 상기 피더 스파우트 배출속도 계산단계에서 장입물의 피더 스파우트 출구속도(V_{2v})는 $V_{2v} = [V_{1v}^2 + 2gH_d]^{0.5}K_f$ 인 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한, 상기 슈트 배출속도 계산단계에서 장입물의 슈트 출구속도(V_3)는

[0017] $V_3=[\omega^2\cos\alpha(\cos\alpha+\mu\sin\alpha)L^2+2g(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)L+(V_{2v}\sin\alpha)^2]^{0.5}$ 인 것을 특징으로 한다.

[0018] 또한, 상기 낙하궤적 계산단계에서 장입물의 시간에 따른 낙하중 위치는 장입물 입자의 수평, 수직 좌표(X,Y)로 이루어지고,

[0019] 상기 좌표값(X,Y)은 $X = V_t\sin\alpha_s \cdot t$, $Y = V_t\sin\alpha_s \cdot t + \frac{gt^2}{2}$ 인 것을 특징으로 한다.

[0020] 또한, 상기 좌표값(X,Y)를 시간에 따라 연속적으로 반복 계산하여 장입물의 낙하궤적을 산출하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 또한, 상기 낙하궤적 계산단계에서 산출된 낙하궤적으로부터 장입물의 낙하위치를 파악하고, 상기 낙하위치에서의 장입물의 안식각을 계산하는 안식각 계산단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 또한, 상기 장입물의 안식각 중,

[0023] 노 중심방향 안식각(α)은 $\alpha = A_{max} \times C \times \frac{D^{0.05}}{4 \times F_s^{0.05}}$ 이고,

[0024] 노벽방향 안식각(β)은 $\beta = A_{max} \times C \times \frac{D^{0.05}}{4 \times F_s^{0.005}} \times \frac{\frac{d}{2} - X^{1.4}}{5.8}$ 인 것을 특징으로 한다.

[0025] 또한, 본 발명은 슈트의 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 슈트 배출속도 계산단계와;

[0026] 상기 슈트 배출속도를 이용하여 낙하 중 시간에 따른 장입물의 위치를 계산하는 낙하궤적 계산단계;

[0027] 를 포함하여 이루어질 수 있다.

발명의 효과

[0028] 이상 설명한 바와 같은 본 발명에 따르면,

[0029] 장입물의 낙하궤적과 낙하위치에서의 퇴적형태(좌우 안식각)를 용이하고 정확하게 알 수 있게 되어 고로내 장입물의 분포를 보다 정확하게 파악할 수 있게 되고, 이에 고로 조업 상태에 따라서 장입물의 장입 상태를 적절히 제어할 수 있게 됨으로써 고로 조업 효율과 생산성의 향상을 도모할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 고로 상부의 벨레스탑 장입장치의 설치 상태도,

도 2는 본 발명의 구성을 나타내는 블럭도,

도 3은 슈트를 통과하는 입자에 작용하는 힘과 그에 영향을 미치는 인자들을 표시한 모식도,

도 4는 고로 축소모델 실험을 통해 얻어진 광석과 코크스의 적층형태를 나타낸 그래프,

도 5는 장입물의 낙하궤적과 낙하위치에서의 안식각을 나타낸 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 본 발명을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0032] 도 1은 벨레스탑 장입장치의 개략 설치 상태도로서, 도시된 바와 같이 벨레스탑 장입장치는 고로(1)의 노정부에 설치되며, 벙커(2)로부터 장입물을 공급받는 호퍼(3)와, 상기 호퍼(3) 하단에 연결된 피더 스파우트(feeder spout;4)와, 상기 피더 스파우트(4)에 연결되고 선회 및 경동각 조절이 가능하도록 되어 있는 슈트(5)를 포함한다.

[0033] 상기 벨레스탑 장입장치에서 장입물은 호퍼(3)로부터 피더 스파우트(4)를 거쳐 슈트(5)로 배출될 때 까지 연속적으로 이동한다.

[0034] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명은 상기 벙커(2)로부터 공급되어 상기 호퍼(3)를 경유하여 상기 호퍼(2) 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 호퍼 배출속도 계산단계(S1)와,

[0035] 상기 호퍼 배출속도 계산단계(S1)에서 계산된 장입물의 호퍼 배출속도를 이용하여, 상기 호퍼(3)로부터 공급되어 상기 피더 스파우트(4)를 경유하여 상기 피더 스파우트(4)의 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 피더 스파우트 배출속도 계산단계(S2)와,

[0036] 상기 피더 스파우트 배출속도 계산단계(S2)에서 계산된 장입물의 피더 스파우트 배출속도를 이용하여, 상기 피더 스파우트(4)로부터 공급되어 상기 슈트(5)를 경유하여 상기 슈트(5)의 출구로 배출되는 장입물의 속도를 계산하는 슈트 배출속도 계산단계(S3)와,

[0037] 상기 슈트 배출속도 계산단계(S3)에서 계산된 장입물의 슈트 배출속도를 이용하여 낙하 중 시간에 따른 장입물의 위치를 계산하는 낙하궤적 계산단계(S4)를 포함한다.

[0038] 또한, 본 발명은 상기 낙하궤적 계산단계(S4)에서 계산된 낙하궤적으로부터 장입물의 낙하위치를 계산하고, 상기 낙하위치에 쌓이는 장입물의 안식각을 계산하는 안식각 계산단계(S5)를 더 포함한다.

[0039] 이제 본 발명에 따른 고로 장입물의 낙하궤적 산출방법의 각 단계를 구체적으로 설명한다.

[0040] 상기 호퍼 배출속도 계산단계(S1)에서 장입물의 호퍼 출구속도는 다음과 같이 계산된다.

[0041] 이때 호퍼(3) 내의 장입물 흐름은 퍼넬 유동(funnel flow)으로 간주한다.

[0042] 호퍼(3)에 저장된 장입물은 호퍼 내부의 오리피스를 통해 피더 스파우트(4)로 이동하는데, 상기 오리피스를 지나는 장입물의 유량은 호퍼(3) 배출구에서의 낙하속도에 영향을 미친다.

[0043] 장입물의 유량(G)은 호퍼(3)의 경사각과 오리피스의 지름 및 장입물 입자의 밀도에 영향을 받으며, 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

[0044] $$G=\frac{\pi}{4}\,\rho_s\, d_{eff}^{2.5}\, g^{0.5}\left\{\frac{1-\cos\beta}{2\sin^3\beta}\right\}^{0.5} \quad \text{----------(1)}$$

[0045] G: mass flow rate(질량유량), kg/s

[0046] ρ_s: density of particles(입자밀도). kd/m^3

[0047] d_{eff}: effective diameter of the discharge orifice(오리피스 유효지름), m

[0048] g: accelation due to gravity(중력가속도), m/s^2

[0049] β: acute angle between the cone wall and the horizontal(호퍼 경사각), radian

[0050] 상기 식(1)에서 호퍼(3)에서 배출되는 장입물의 유량(G)을 알 수 있고, 일반적으로 유량은 단면적(A)과 유속(V)의 곱으로 표현되므로 호퍼 출구에서의 장입물 배출속도(V_{1v})를 다음 식(1-1)에서 계산할 수 있다.

[0051] $V_{1v} = G/A$ ----------(1-1)

[0052] (A; 호퍼 출구 단면적)

[0053] 다음, 상기 피더 스파우트 배출속도 계산단계(S2)에서 장입물의 피더 스파우트 출구속도는 다음과 같이 계산된

다.

[0054] 상기 호퍼(3)에서 배출된 장입물은 초기 속도 V_{1v} 로 피더 스파우트(4)의 내부에서 중력에 의해 자유낙하한다.

[0055] 이때 장입물 입자들간의 충돌 및 입자와 피더 스파우트(4) 내벽과의 충돌은 뉴톤법칙(Newton ' law)에 의해 최종 속도(피터 스파우트의 출구 속도)를 감소시킨다.(피더 스파우트(4)내에서 수평속도는 0으로 간주한다.)

[0056] 장입물의 피더 스파우트 출구속도(V_{2v})는 다음 식(2)로 나타내진다.

[0057] $$V_{2v} = [V_{1v}^2 + 2gH_d]^{0.5} K_f \quad \text{----------(2)}$$

[0058] V_{1v}, V_{2v} : velocity at the entrance and exit of the down comer, respectively(피더 스파우트의 입구와 출구의 속도), m/s

[0059] g: Accelation due to gravity(중력가속도),cm/sec^2

[0060] H_d : height of feeder spout(피더 스파우트의 높이), m

[0061] K_f : correction factor for collisions(충돌보정팩터)

[0062] 다음, 상기 슈트 배출속도 계산단계(S3)에서 장입물의 슈트 출구(단부)속도는 다음과 같이 계산된다.

[0063] 상기 피더 스파우트(4)에서 배출된 장입물은 상기 슈트(5)를 통과하여 배출되며, 슈트(5)를 통과하는 장입물 입자에는 도 3과 같이, 마찰력(Frictional force F_F ; 슈트 표면에 평행하게 작용), 중력(Gravitational force m_g ; 수직하방으로 작용), 원심력(Centrifugal force F_T ; 슈트 선회방향의 접선 방향으로 작용), 반작용력(Reactive force F_R ; 슈트 표면의 수직방향으로 작용)이 작용한다.

[0064] l=0(슈트입구), V=$V_{2v}\sin\alpha$(슈트입구의 속도) 이고, l=L(슈트출구), V=V_3(슈트출구의 속도) 일 때, 상기 슈트(5) 출구에서의 속도는 다음 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

[0065] $$V_3=[\omega^2\cos\alpha(\cos\alpha+\mu\sin\alpha)L^2+2g(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)L+(V_{2v}\sin\alpha)^2]^{0.5} \quad \text{---(3)}$$

[0066] ω : angular velocity(각속도), radian/s

[0067] μ : Coefficient of friction between the particles and the chute surface(장입물 입자와 슈트 표면 사이의 마찰계수).

[0068] V_{2v} : velocity at the exit of the down comer(피더 스파우트 출구속도), m

[0069] 한편, 상기 낙하궤적 계산단계(S4)에서는 다음과 같이 낙하궤적을 계산한다.

[0070] 상기 식(3)을 통해 구해진 슈트 출구에서의 장입물 속도(V_3)는 반경방향성분, 수직방향성분, 접선방향성분으로 이루어진다.(다음 식(4),(5),(6)과 같이 나타내진다.)

[0071] $$V_x = V_3\cos\alpha \quad \text{----------(4)}$$

[0072] $$V_y = -V_3\sin\alpha \quad \text{----------(5)}$$

[0073] $$V_\Theta = r_c\omega \quad \text{----------(6)}$$

[0074] (r_c ; radius to the tip of the chute(슈트선단까지의 반경)

[0075] 그 중 수직성분(V_y)과 수평성분(V_x)만을 고려(2차원 모델링)하여 장입물의 낙하궤적을 계산한다.

[0076] 상기 낙하궤적은 단위 시간당 장입물 입자의 수직, 수평 좌표로 이루어지며 그 계산은 다음 식(7),(8)에 의해 이루어진다.

[0077] $$X = V_t\sin\alpha_s \cdot t \quad \text{----------(7)}$$

[0078] $$Y = V_t \sin\alpha_s \cdot t + \frac{gt^2}{2}$$ ----------(8)

[0079] V_t : Particle velocity at the chute tip(슈트출구속도 즉, V_3), (cm/sec)

[0080] α_s : Angle between the main principal stress and the shear line(주응력과 전단라인 사이의 각도)

[0081] g: Accelation due to gravity(중력가속도), (cm/sec^2)

[0082] 상기 식(7),(8)에 의하여 슈트(5)에서 장입물 낙하 후, 시간 경과에 따른 장입물 입자의 수평, 수직 좌표를 알 수 있게 되므로 장입물 입자의 위치를 알 수 있으며, 이를 연결(즉, 시간에 따른 상기 계산의 반복)함으로써 장입물의 낙하궤적을 알 수 있게 된다.

[0083] 또한, 장입물이 낙하할 때는 일정 두께를 가지고 낙하하므로, 이를 고려하기 위하여 장입물 유동을 상부와 하부로 구분(상부와 하부 유동의 낙하궤적은 마찰계수에 의해 변화된다.)하고, 상,하 두 유동 사이의 중간부를 고밀도류로 설정하며, 그 고밀도류의 궤적을 장입물의 낙하궤적으로 간주한다.

[0084] 한편, 상기 계산된 낙하궤적으로 낙하하여 최상 적층면상에 떨어진 장입물은 장입 계속에 의하여 퇴적된다.

[0085] 이때 장입물 입자가 퇴적 사면에서 흘러내리지 않고 쌓여 있을 수 있는 경사각을 안식각이라고 하는데, 장입물의 안식각은 장입물 적층 형상에 매우 큰 영향을 미친다.

[0086] 안식각은 장입물 퇴적체의 정점을 기준으로 노 중심쪽 사면의 안식각(중심방향 안식각;α)과 노 벽쪽 사면의 안식각(노벽방향 안식각;β)으로 이루어진다.

[0087] 상기 안식각(α,β) 계산을 위한 수식모델 개발을 위해 고로 축소모델을 이용한 실측실험과 입자 역학 시뮬레이션 툴(상용 프로그램)인 EDEM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

[0088] 고로 축소모델을 이용한 실측 실험은, 실제 고로의 1/5 스케일로 길이 90cm, 지름 20cm의 슈트를 사용하였다. 슈트와 적층면까지의 거리는 50cm로 하였으며 슈트의 회전없이 경동각을 변화시켰다. 장입물 장입량은 25kg으로 설정하였고, 경동각이 45°,40°,35°,30°,0° 일 때의 광석과 코크스의 안식각을 측정하였다.

[0089] 도 4는 상기 경동각 변화에 따른 광석과 코크스의 적층 형상을 나타내었다.

[0090] 실험 결과, 최대 안식각은 광석이 35° , 코크스가 38° 로 나타났다.

[0091] 광석과 코크스의 중심방향 안식각 α와 노벽방향 안식각 β의 평균값은 다음 표 1과 같다.

표 1

[0092]

구분	α	β
광석	34°	17°
코크스	37°	28°

[0093] 전체적으로 노벽방향 안식각 β의 값이 작게 나왔는데, 이는 장입물 입자의 수평속도로 인해 입자들이 노벽방향 사면으로 미끄러지면서 이동거리가 증가했기 때문이다.

[0094] 다음은 EDEM을 이용하여 안식각을 측정하였다.

[0095] EDEM은 개별 입자의 해석이 가능하기 때문에 실제 입자 거동과 유사한 결과를 예상할 수 있다. 입자는 형상계수에 따라 이동거리가 달라지게 되는데 EDEM의 경우 구형입자를 해석하기 때문에 마찰계수의 조절을 통한 형상계수의 적용이 필요하다.

[0096] EDEM에 사용된 마찰계수는 정마찰계수(Coefficient of static friction)와 구름마찰계수(Coefficient of rolling friction)가 있다. EDEM에서는 두 계수의 값이 정해지지 않았으므로 적절한 값을 찾는 것이 필요하다.

[0097] 상기 두 계수에 따른 안식각을 측정하기 위해 계수값을 다음 표 2와 같이 설정하였다.

표 2

[0098]

구분	정마찰계수	구름마찰계수
case1	0.5	1
case2	0.76	1
case3	1	1
case4	1	2.5

[0099] 그리고, 상기 각 케이스별로 안식각을 측정하였다. 입자는 수직방향으로 낙하시켰다.

[0100] 입자들의 적층은, 상기 두 마찰계수 값이 가장 큰 case4에서 안식각이 가장 큰 형상으로 이루어졌다. 각 case별 안식각은 case1 ; 26° , case2 ; 38.5° , case3 ; 44° , case4 ; 46° 로 계산되었는데 실제 적층 현상과 비교하면 case2의 마찰계수가 가장 적절하다고 볼 수 있다.

[0101] 안식각에 영향을 미치는 요인 중에서 수식모델에 적용한 변수는 다음 표 3과 같다.

표 3

[0102]

최대안식각(°)	A_{masx}
입도(m)	D
형상계수	F_s
수평속도(m/s)	V_v
고로입구지름(m)	d
낙하시 수평위치	X
상수	C

[0103] 도 5에서 슈트(5)로부터의 장입물 낙하궤적과 낙하위치(수평좌표 X) 및, 낙하위치에서의 중심방향 안식각 α와, 노벽방향 안식각 β를 확인할 수 있다.

[0104] 상기 변수들이 포함된 안식각 최종 수식은 다음 식(9),(10)과 같다. 안식각은 최대안식각을 초과할 수 없으며 입도(D)에 비례하고 형상계수(F_s)에 반비례한다. 이때 입도와 형상계수의 지수는 축소모델 실험결과를 통해 얻어졌다.

[0105] $$\alpha = A_{max} \times C \times \frac{D^{0.05}}{4 \times F_s^{0.05}} \quad \text{----------(9)}$$

[0106] $$\beta = A_{max} \times C \times \frac{D^{0.05}}{4 \times F_s^{0.005}} \times \frac{\frac{d}{2} - X^{1.4}}{5.8} \quad \text{----------(10)}$$

[0107] 상기와 같이, 노벽방향 안식각(β)의 경우에는 추가 항이 존재하게 된다. 이는 장입물이 노 벽부에서 낙하할 경

우 노벽에 접하여 쌓이게 되므로 정상적인 경우보다 안식각이 감소하게 된다. 이를 고려하기 위해 장입물의 낙하위치를 변수로 하는 항을 추가하였다.

[0108] 따라서, 상기 식(7),(8)에 의해 장입물이 슈트(5)로부터 배출되는 시점부터 누적된 장입물의 표면에 낙하하는 위치까지의 낙하궤적을 정확하고 용이하게 알 수 있고, 또한 상기 식 (9),(10)에 의해 상기 낙하위치에서의 고로 중심방향 안식각 α와 노벽방향 안식각 β를 정확하고 용이하게 알 수 있다.

[0109] 상기 수식의 계산은 컴퓨터를 이용하여 수행된다. 컴퓨터에는 사용자가 변수를 입력하면 상기 수식을 이용하여 계산을 수행하는 프로그램이 입력되어 실행된다. 따라서, 사용자는 컴퓨터에 변수를 입력하는 것만으로 장입물의 낙하궤적과 안식각을 용이하고 정확하게 알 수 있다.

[0110] 이와 같이 장입물의 낙하궤적과 안식각을 용이하고 정확하게 알 수 있게 되어 고로내 장입물의 분포를 보다 정확하게 파악할 수 있게 되고, 이에 고로 조업 상태에 따라서 장입물의 장입을 적절히 제어할 수 있게 됨으로써 고로 조업 효율과 생산성이 향상된다.

부호의 설명

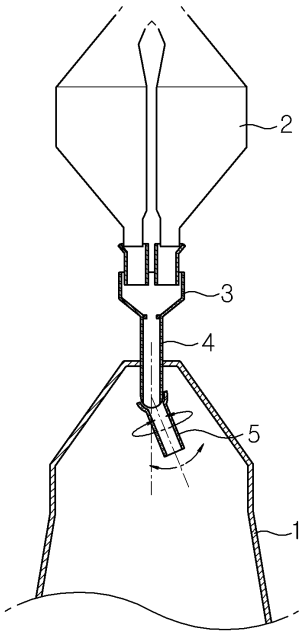
[0111] 1 : 고로 2 : 벙커

3 : 호퍼 4 : 피터 스파우트

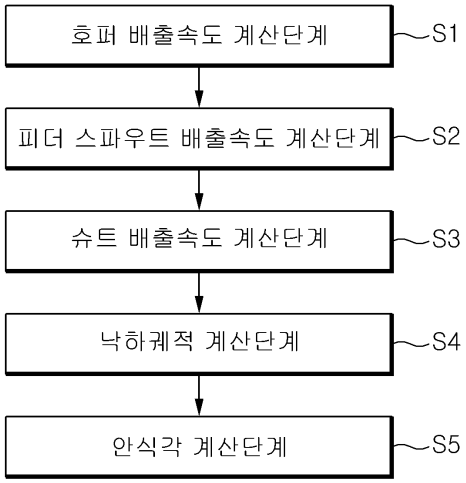
5 : 슈트

도면

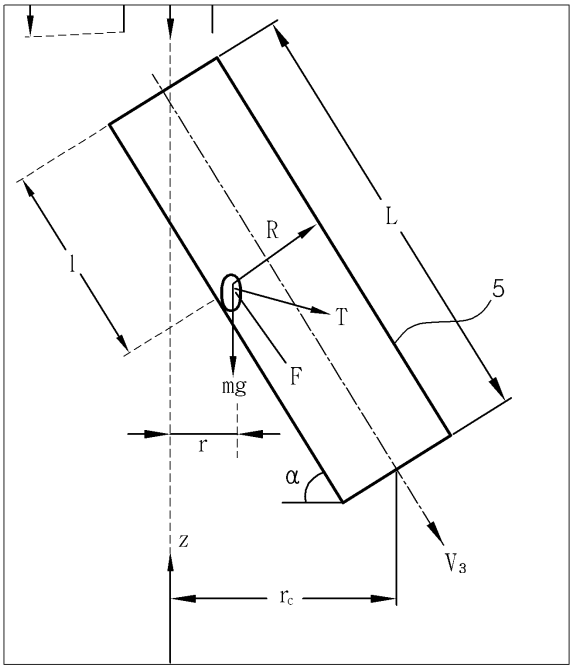
도면1



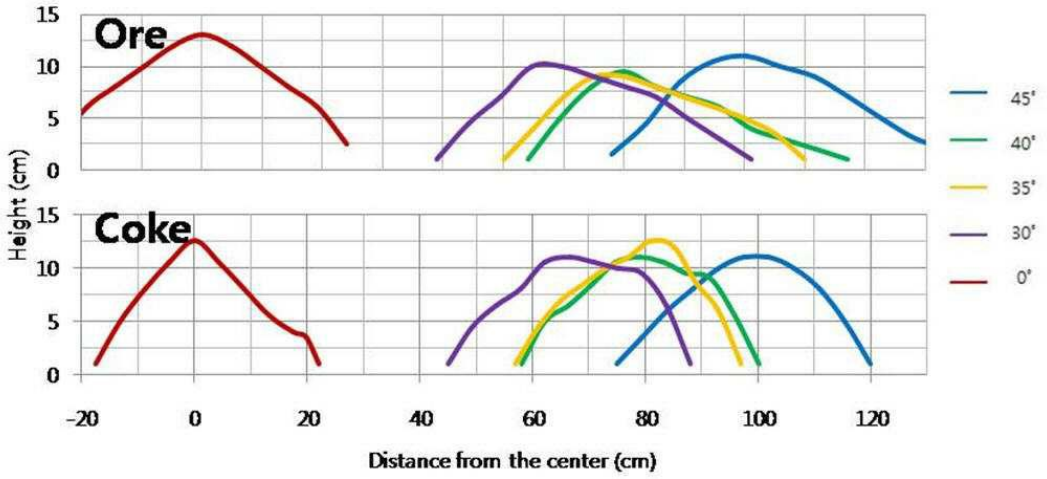
도면2


호퍼 배출속도 계산단계
S1
피더 스파우트 배출속도 계산단계
S2
슈트 배출속도 계산단계
S3
낙하궤적 계산단계
S4
안식각 계산단계
S5

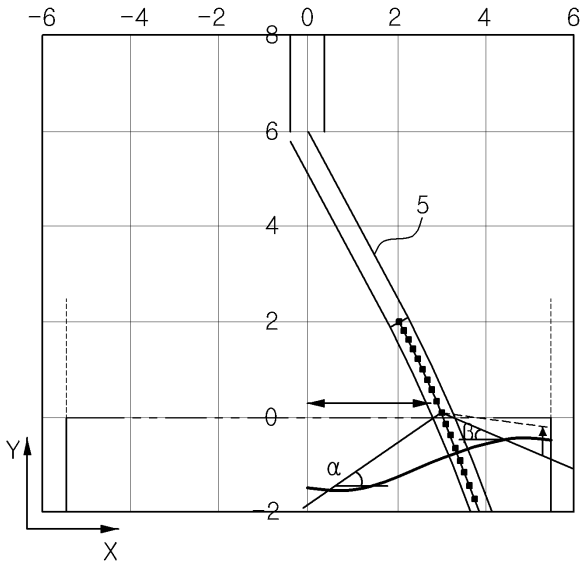
도면3


L
l
R
T
5
F
mg
r
α
z
V3
rc

도면4


Ore
Coke
Height (cm)
15
10
5
0
-20
0
20
40
60
80
100
120
Distance from the center (cm)
45'
40'
35'
30'
0'

도면5


-6
-4
-2
0
2
4
6
8
6
4
2
0
-2
5
α
Y
X