

부선평정에서 선별성지표의 설정

최명룡, 조동수, 김승혁

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《기초과학에 대한 근시안적인 관점을 버리고 기초과학연구에 계속 힘을 넣어 첨단과학기술을 비롯한 과학기술발전의 원리적, 방법론적기초를 튼튼히 다져나가야 합니다.》

(《김정일선집》 제22권 증보판 22페이지)

우리는 부유선광공정의 과학화수준을 높이기 위하여 부선평정에서 선택성의 운동학적의미와 그것을 특징짓는 지표를 설정하기 위한 연구를 하였다.

1. 선별성의 평가방법

선광공정은 광석에서 유가광물을 골라내는 공정이므로 선별성을 평가하는 지표를 옹계 설정하여야 공정건설과 조업을 보다 과학화할수 있다. 현재 선광분야에서 쓰이고있는 선별효율이라는 지표는 정광거둬물과 거품에 따라넘어간 맥석거둬물의 차로 정의되어있다.[3]

$$\eta = \varepsilon_{\text{정}} - \varepsilon_{\text{맥}} \quad (1)$$

여기서 η 는 선별효율이다.

식 (1)은 정광거둬물이 선광공정의 량적측면만을 반영하고있기때문에 정광중에 꺼묻혀온 맥석의 거둬물을 고려하여야 한다는데로부터 나온것이지만 몇가지 부족점이 있다.

정광품위를 어느 한 원소의 함량으로 평가할 때 식 (1)은 다음과 같이 고쳐쓸수 있다.

$$\eta = \frac{\varepsilon - \gamma}{1 - \alpha} \quad (2)$$

여기서 γ 는 정광산출률, α 는 원광중 주목하는 원소의 품위이다.

식 (2)는 정광거둬물과 맥석거둬물에 관한 식

$$\varepsilon_{\text{정}} = \frac{\gamma\beta}{\alpha} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\text{맥}} = \frac{\gamma(1 - \beta)}{1 - \alpha} \quad (4)$$

으로부터 이끌어낸 식으로서 량적지표라고 선정한 $\varepsilon_{\text{정}}$ 에도 정광의 질적지표인 β 가 들어있으며 질적인 측면을 고려한다고 하면서 보충한 $\varepsilon_{\text{맥}}$ 에도 β 가 들어있다.(여기서 β 는 정광품위이다.) 이것은 량적지표와 질적지표를 엄밀하게 설정하지 못하였다는것을 의미한다.

또한 선별효율이라는 지표에서 정광중 맥석의 거둬물을 고려한다고 하면서 그것을 정광거둬물에서 덜어낸것은 해석적인 결과가 아니다. 여기에는 선광공정에서 정광거둬물이 매우 중요한것만큼 그것과 같은 척도에서 질적인 측면도 함께 평가하자는 연구자의 주관적인 의사가 반영되어있다.

정광과 맥석이 어느 정도로 분리되었는가를 보다 엄밀하게 정량화하기 위하여 선행 연구[4]에서는 미광품위는 낮을수록 더 낮추기 힘들고 정광품위는 높을수록 더 높이기 어렵다는 선광공정의 특성을 반영하여 오메가변환법을 적용하였다. 선광공정의 매 단계들에서 정광품위와 미광품위, 정광거둬물과 산출물(혹은 맥석거둬물)들이 변하기때문에 식 (1), (2)를 어느 단계에서 적용하는가에 따라 선별효율값이 변화되므로 선광공정의 최량화에 그것을 리용하기 힘들다.

2. 선별성의 운동학적특징

선광공정의 매 단계들에서 선광지표값들은 일정한 경향성을 가지고 변하는데 그것은 선광공정의 선별성이 운동학적인 특성을 가지기때문이다.

부선평학적견지에서 부선속도와 관련한 여러가지 류형의 속도식들이 제기되었다.[5-7] 우리는 이미 포물선형총괄화학운동학방정식[1]을 내놓고 그것을 부선과정에 적용하였다.[2] 여기서 주목되는것은 부선과정에서의 정광거둬물변화속도(부선속도)와 산출물의 변화속도(산출속도)가 같은 형태를 가진다는것이다.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = k_\varepsilon (1 - a_\varepsilon \varepsilon)^2, \quad \varepsilon = \frac{t}{b_\varepsilon + a_\varepsilon t} \quad (5)$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = k_\gamma (1 - a_\gamma \gamma)^2, \quad \gamma = \frac{t}{b_\gamma + a_\gamma t} \quad (6)$$

여기서 ε , γ 는 각각 정광거둬물과 산출물이고 a_i , b_i 는 해당하는 운동학파라미터들이며 $b_i = 1/k_i$ 로서 속도상수(초기속도)의 거꿀수이다.

식 (5)와 (6)의 적분운동학방정식들을 련립하면

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{B + A\gamma} \quad (7)$$

이 얻어지는데 이 식은 정광산출물에 따르는 정광거둬물의 변화를 보여주는 식으로서 숨은 형태의 운동학방정식이다. 그것은 식 (7)의 파라미터 B 와 A 가 식 (5), (6)의 파라미터들로 이루어져있기때문이다.

$$A \equiv (a_\varepsilon - a_\gamma b_\varepsilon / b_\gamma), \quad B \equiv \frac{b_\varepsilon}{b_\gamma} \quad (8)$$

3. 선별성의 해석적인 기초

이미 잘 알려진 선광과정의 기본물질관계식

$$\varepsilon = K \cdot \gamma \quad (K = \beta/\alpha: \text{부광비}) \quad (9)$$

는 정광거둬물이 정광산출물과 부광비의 함수 즉 $\varepsilon = f(K, \gamma)$ 임을 보여준다. 그러므로 식 (3)의 전미분식

$$d\varepsilon = \frac{\partial \varepsilon}{\partial K} dK + \frac{\partial \varepsilon}{\partial \gamma} d\gamma \quad (10)$$

$$d\varepsilon = \gamma dK + K d\gamma \quad (11)$$

로부터 $\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial K}\right)_\gamma = \gamma$, $\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \gamma}\right)_K = K$ 이다.

식 (11)의 양변을 dt 로 나누면

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \gamma \frac{dK}{dt} + K \frac{d\gamma}{dt}. \quad (12)$$

식 (12)는 부선평정속도($d\varepsilon/dt$)가 산출속도($d\gamma/dt$)와 부광비변화속도(dK/dt)에 매이는 관계를 보여주므로 이 식을 부선평정속도상관규칙이라고 말할수 있다. 식 (5)에서 보는것처럼 초기부선평정속도는 부선평정속도상수와 같으면서 최대이며 그것을 식 (12)와 결부시키면

$$\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)_0 = k = K \left(\frac{d\gamma}{dt}\right)_0. \quad (13)$$

한편 식 (11)의 양변을 $d\gamma$ 로 나누면

$$\frac{d\varepsilon}{d\gamma} = \gamma \cdot \frac{dK}{d\gamma} + K. \quad (14)$$

식 (14)에서 $d\varepsilon/d\gamma$ 는 본질에 있어서 선광속도와 산출속도의 비 $\left(\frac{d\varepsilon}{d\gamma} = \frac{d\varepsilon/dt}{d\gamma/dt}\right)$ 이므로 부선평정의 운동학적인 선별성의 척도로 될수 있다.

$$\frac{d\varepsilon}{d\gamma} = S_E \quad (15)$$

식 (15)에서 S_E 를 미분선별비라고 정의한다. 미분선별비 S_E 는 부선평정의 임의의 시각에서의 선별성을 나타내는 지표로 된다.

4. 평균선별비

S_E 가 미분선별비라는것을 생각하면 평균반응속도($\Delta x/\Delta t$)처럼 평균선별비를 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\Delta S = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \gamma} = \frac{\varepsilon(t) - \varepsilon(t=0)}{\gamma(t) - \gamma(t=0)} = \frac{\varepsilon(t)}{\gamma(t)} \quad (16)$$

한편 식 (7)의 양변을 γ 로 나누면 $\frac{\varepsilon}{\gamma} = \frac{1}{B + A\gamma}$ 이다. 식의 거꿀수를 취하면 $\frac{\gamma}{\varepsilon} = B + A\gamma$ 이며 γ/ε 는 부광비의 거꿀수이므로

$$K^{-1} = B + A\gamma \quad (17)$$

로 된다.

식 (17)의 의미는 선광과정에서 K^{-1} 은 산출률에 따라 직선적으로 증가한다는 해석적인 내용을 담고있다. 그러므로 식 (17)을 선별방정식이라고 부를수 있다.

5. 선별파라미터

선별방정식에서 A 와 B 는 선별성을 규정하는 선별파라미터들이다. 파라미터 B 는 $\gamma=0$ 일 때의 부광비의 거꿀수로서 초기선별파라미터이다.

파라미터 A 의 물리적의미는 그것의 해석적인 의미

$$A = \frac{1 - K^{-1}}{1 - \gamma} \quad (18)$$

을 따져보면 알수 있다.(그림)

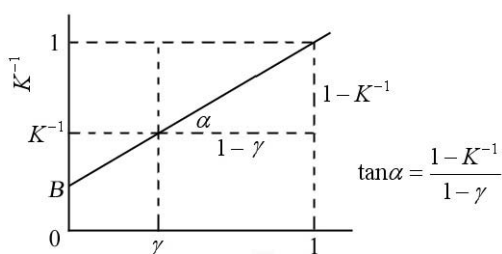


그림. 파라미터 A 의 기하학적의미

품위가 높을수록, 미광품위가 낮을수록 크다. A 는 공정의 어느 한 시각이나 단계에서의 선별성지표가 아니다. 그것은 A 가 전체 과정의 평균값으로 나타나는 선별방정식의 파라미터이기 때문이다. 파라미터 A 는 과정 전체를 대표하며 0~1사이값을 가지는 선별도라고 정의할수 있다.

이미 정의된 선별효율이라는 개념과 같이 량적지표와 질적지표를 다같이 고려하자면 논리적으로 거둬들고 선별도를 곱해야 한다. 결국 해석적으로 이끌어낸 선별효율은

$$\eta^* = \varepsilon \cdot A. \quad (20)$$

식 (20)에 (19)를 대입하면

$$\eta^* = \frac{\varepsilon - \gamma}{1 - \gamma}. \quad (21)$$

한편 $\gamma = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta}$ 이므로 $\theta \approx 0$, $\beta \approx 1$ 이면 $\gamma \approx \alpha$ 이므로 $\eta^* = \frac{\varepsilon - \gamma}{1 - \alpha}$ 로 된다. 결국 우리가 이끌어낸 선별효율식은 이미 제기된 선별효율을 특수한 경우로 포함하고있는 보다 일반적인 개념이다.

맺 는 말

우리는 이미 제기되었던 부선평정의 선별효율이 과정의 운동학적특성을 반영하지 못하고 자기의 고유한 물리적의미가 없이 설정된것임을 밝혔다. 우리는 부선평정의 운동학적특성을 반영할수 있는 새로운 선별성지표를 포물선형총괄속도식에 기초하여 설정하고 그것이 물리적의미로 보나 선광공정지표들사이관계로 보나 적합하다는것을 밝혔다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 53, 6, 104, 주체96(2007).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 57, 2, 103, 주체100(2011).
- [3] 려석철 등; 선광공학, 김책공업종합대학출판사, 24, 주체101(2012).
- [4] 오명운; 광업, 3, 25, 주체90(2001).
- [5] F. Hernainz et al.; Chemical Engineering and Processing, 40, 259, 2001.
- [6] E. C. Cilik et al.; Minerals Engineering, 17, 81, 2004.
- [7] B. K. Gorain et al.; Minerals Engineering, 11, 627, 1998.

주체103(2014)년 2월 5일 원고접수

Establishment of Selectivity Index in Flotation Process

Choe Myong Ryong, Jo Tong Su and Kim Sung Hyok

The selectivity for flotation must be evaluated by a dynamic parameter. However, such a dynamic parameter has not been proposed yet.

We set up flotation selectivity index based on the parabolic model of flotation rate equation. The new flotation selectivity parameters reflect the overall process of flotation.

Key words: flotation, selectivity