

## 린정광생산에서 시약자동공급을 위한 모호조종기설계

김남일, 최명성

정애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구부문에서는 나라의 경제발전과 인민생활향상에서 전망적으로 풀어야 할 문제들과 현실에서 제기되는 과학기술적문제들을 풀고 첨단을 돌파하여 지식경제건설의 지름길을 열어놓아야 합니다.》

린회석에 대한 선광을 잘하는 문제는 고농도린비료생산을 위한 중요한 문제인 동시에 같은 광석을 가지고도 더 많은 정광을 생산하여 생산원가를 줄이면서도 생산량을 늘이는 문제라고 말할수 있다.

지금까지 ○광산에서의 린회석부선은 많은 요인들이 작용하는것으로 하여 기능이 높은 운전공에 의해서 진행되었으며 결과적으로 생산되는 린정광의 품위가 일정하지 못하고 파동성을 띠게 되었다. 또한 정확한 시약정량공급체계가 세워져있지 못한데로부터 시약소비량이 엄청나게 늘어나 생산원가가 크게 늘어나고 실수률도 높지 못하였다.

일반적으로 린회석부선현장조업이 진행될 때 pH를 10.5~11로 맞추자면  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  은 2.5~3.25kg/t, NaOH 는 0.75~1.5kg/t이 요구된다. 그러나 현장조업에서는 미광반환쟁수속에  $\text{HCO}_3^-$  이 있기때문에  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  들이 부단히 반응하여 변화되는 과정에 진행되는것으로 하여 반드시 최량pH를 보장하면서 조업하여야 한다.[3, 4]

린회석과 방해석에 흡착되어있는  $\text{Ca}^{2+}$  을 제거하기 위해서는  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  을 기본으로 하고 NaOH 와 같은 알칼리시약을 첨가해야 하는데 ○광산에서는 이 비율을  $\text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{NaOH} = 5:1$ 로 하고있다.

광산에서 과학적인 시약공급체계가 세워져있지 못한데는 여러가지 원인이 있다고 말할수 있다.

그것은 첫째로, ○광산의 광석특성이 방해석이 위주인 탄산염형태의 저품위린회석인것으로 하여 시약균형체계가 조금만 차이나도 조업이 파괴되어 정광품위를 높일수 없는 것과 관련된다.

둘째로, 린정광품위를 실시간적으로 측정할수 있는 실시간수감체계가 세워져있지 않고 생산이 완료된 후 몇시간후에야(빨라서 4h) 정광품위를 알수 있기때문에 정광품위에 대한 실시간조종을 진행할수 없기때문이다.

셋째로, 시약공급에 대한 정량적이면서도 과학화된 체계가 세워져있지 않고 운전공들의 조작에 따라 부선공정이 관리운영되는데 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 과학적이면서도 정량적인 시약자동공급체계가 확립되어야 한다.

론문에서는 ○광산의 선광실태를 구체적으로 분석한데 기초하여 부선운전공의 경험을 모방한 지식기초모호조종방법을 적용하여 시약공급량을 자동적으로 조종하는 방법[1, 2]으로 린정광의 품위를 안정화시키는 문제를 고찰하였다.

## 1. 부선품의 운전경험을 모방한 모호조종기설계

그림 1에 제안한 시약자동공급기의 구조를 보여주었다.

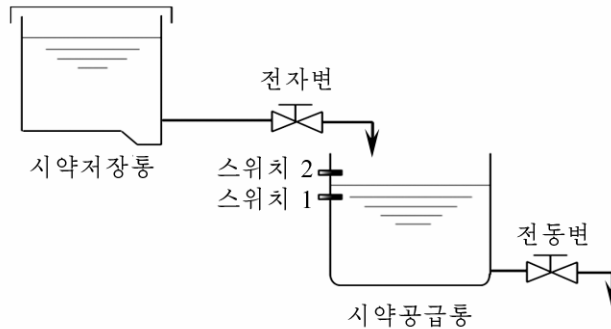


그림 1. 시약자동공급기의 구조

린정광생산에 리용되는 매 시약에 대하여 시약자동공급기는 그림 1과 같이 시약저장통, 시약공급통, 전자변 및 전동변과 2개의 스위치로 이루어져있다. 시약자동공급기는 전자변과 2개의 스위치를 리용하여 시약공급통의 준위를 항상 일정하게 유지하도록 준위조종을 진행하고 전동변의 발브열림도를 조종하여 시약의 류량을 조종하도록 되어있다. 부선품정에서 시약공급에 대한 자동조종문제는 지난 시기 부선품들이 수동적으로 조절하던 시약류량을 전동변을 리용하여 자동적으로 실현하는 문제로 볼수 있다.

한편 부선품과정이 복잡한 화학반응과 함께 시간에 따라 그 변화도 예측할수없이 변하기때문에 조종대상에 대한 수학적모형을 작성할수 없다. 즉 시약자동공급기에 대한 조종문제는 원광에 대한 급광량, 마광기의 출구에서 나오는 광액의 무늬이구간에서의 pH값, 부선품기의 거품크기 등을 입력변수로 하여 조종력으로서의 점결체와  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$  혼합물, 비누의 단위시간당 류량을 결정하는 문제이다.

시약자동공급기에 대한 류량조종을 위하여 입력변수에 따르는 모호조종기의 입력공간분할을 그림 2와 같이 하였다.

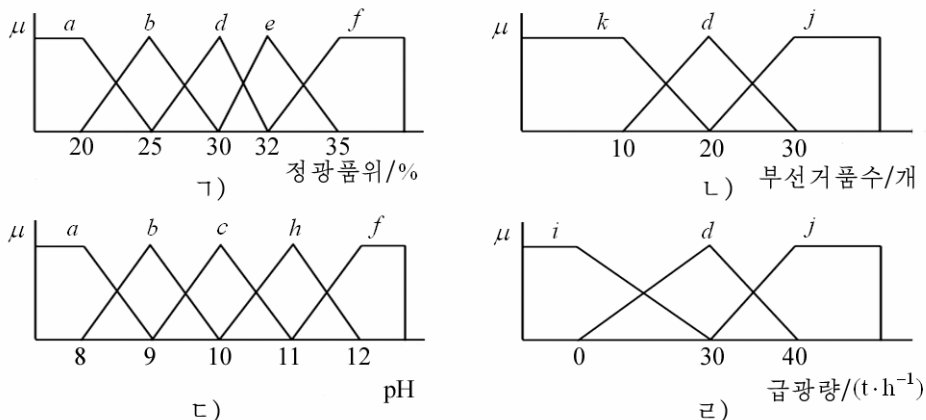
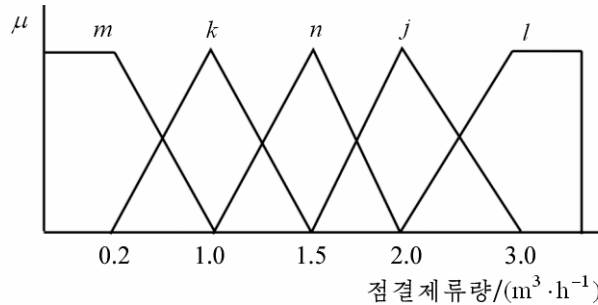


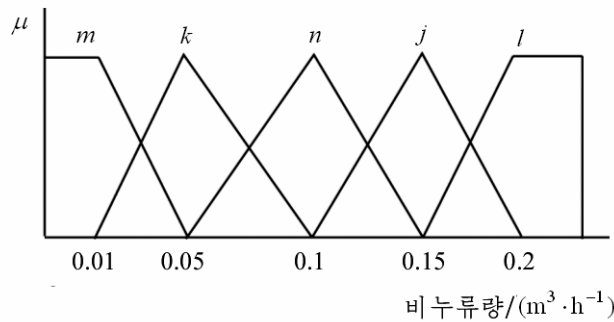
그림 2. 모호조종기의 입력공간분할

그림 2에서  $a$ 는 아주 낮다,  $b$ 는 낮다,  $c$ 는 약간 낮다,  $d$ 는 중간,  $e$ 는 약간 높다,  $f$ 는 높다,  $g$ 는 아주 높다,  $h$ 는 표준,  $i$ 는 없다,  $j$ 는 많다,  $k$ 는 적다로 약속하였다.

그림 3에 시약자동공급을 위한 모호조종기의 출력공간분할을 보여주었다.



ㄱ)



ㄴ)

그림 3. 모호조종기의 출력공간분할

그림 3에서  $l$ 은 아주 많다,  $m$ 은 아주 적다,  $n$ 은 보통으로 약속하였다.

모호조종기의 조종규칙을 유도하기 앞서 부산공정에서 운전공들의 운전조작과정을 규칙으로 정리하면 다음과 같다.

① pH가 표준이면 점결제와  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ 는 보통으로 하고 부산거품수에 따라 비누량을 조절한다.

② pH가 낮다고 하면 점결제와  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ 량을 늘이고 비누량은 줄인다.

③ pH가 높다고 하면 점결제와  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ 량을 줄이고 비누량은 늘인다.

④ 급광이 시작되면 시약공급기를 동작시키며 급광량에 따라 점결제와  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ 량을 늘인다.

⑤ 급광을 하지 않는 경우에는 점결제와  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ 량을 아주 적은 양으로 공급한다.

⑥ pH는 표준인데 부산거품의 수가 적다고 하면 점결제량을 줄인다.

⑦ pH는 표준인데 부산거품의 수가 지내 많다고 하면 비누량을 약간 줄인다.

⑧ 급광은 하지 않는데 pH가 표준이면  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ 와 점결제에 대한 공급을 중지한다.

- ⑨ 예측된 정광품위가 중간이라고 하면 시약공급량도 보통으로 설정한다.  
 ⑩ 예측된 정광품위가 낮다고 하면 시약공급량을 증가시킨다.  
 ⑪ 예측된 정광품위가 높다고 하면 시약공급량을 약간 줄인다.  
 ⑫ pH는 약간 낮아도 예측된 정광품위가 높으면 시약공급량은 그대로 유지한다.

부선공의 운전경험을 반영한 운전조작규칙을 다음과 같은 12개의 모호규칙으로 표시할 수 있다.

규칙1: If pH is “표준” Then 점결제 is “보통”

규칙2: If pH is “표준” Then  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$  is “보통”

규칙3: If pH is “표준” 부선거품 is “적다”

Then 비누 is “많다”

규칙4: If pH is “표준”, 부선거품 is “중간”

Then 비누 is “보통”

규칙5: If pH is “표준”, 부선거품 is “많다”

Then 비누 is “적다”

규칙6: If pH is “낮다” Then 점결제 is “많다”

규칙7: If pH is “낮다” Then  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$  is “많다”

규칙8: If pH is “낮다” Then 비누 is “적다”

규칙9: If pH is “아주 낮다” Then 점결제 is “아주 많다”

규칙10: If pH is “아주 낮다” Then  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$  is “아주 많다”

규칙11: If pH is “아주 낮다” Then 비누 is “아주 적다”

규칙12: If pH is “높다” Then 점결제 is “적다”

시약자동공급을 위한 모호조종기의 추론연산자로는 최소화연산을, 비모호화연산으로는 입출력성원함수공간분할이 비대칭적인것을 고려하여 다음과 같은 무게중심법을 리용하였다.

$$Q_{\text{점결}} = \frac{\sum_{i=1}^{39} a_i \int \mu_i(x) dx}{\sum_{i=1}^{39} \int \mu_i(x) dx}$$

$$Q_{\text{탄가}} = \frac{\sum_{i=1}^{39} b_i \int \mu_i(x) dx}{\sum_{i=1}^{39} \int \mu_i(x) dx}$$

$$Q_{\text{비누}} = \frac{\sum_{i=1}^{39} c_i \int \mu_i(x) dx}{\sum_{i=1}^{39} \int \mu_i(x) dx}$$

여기서  $\mu_i$  는  $i$  번째 모호규칙의 추론된 모호성원함수이고  $a_i, b_i, c_i$  는 각각 점결제,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ , 비누에 대한  $i$  번째 모호규칙의 출력성원함수중심을 나타낸다.

## 2. 실험 및 결과분석

○광산의 부선평정에 대하여 430회의 부선을 진행하여 분석된 린정광품위분석자료를 그림 4에 보여주었다. 그림 4에서 부선회수 230회까지는 부선훈전공이 수동적으로 경험에 따라 시약공급을 진행한 경우이고 나머지 231-430회까지의 200회는 시약공급을 자동적으로 진행한 경우이다.

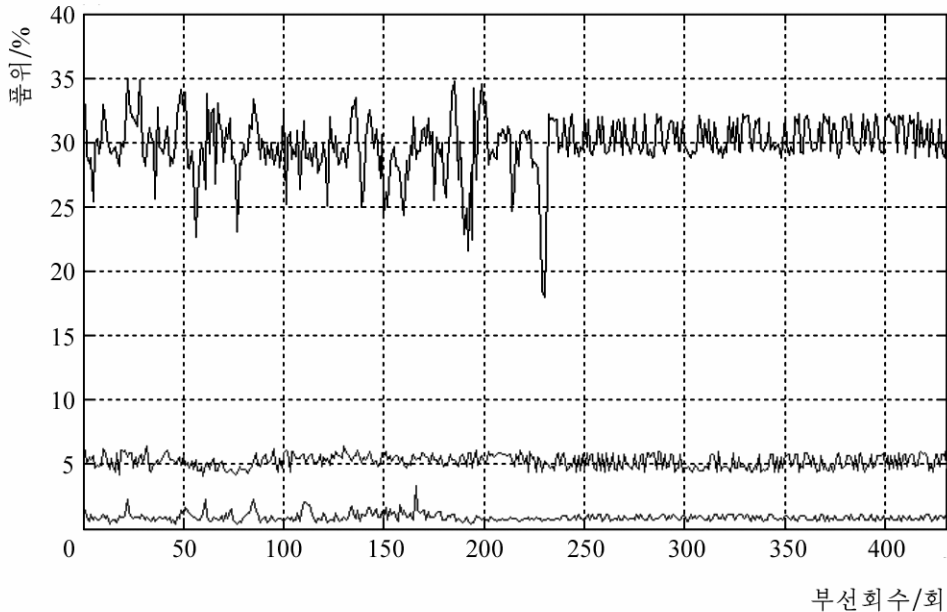


그림 4. 린정광품위분석자료

그림 4에서 보는바와 같이 운전공의 경험에 의하여 시약을 공급하였을 때에는 원광품위가 큰 차이가 없는데도 불구하고 정광품위에서는 크게 변동이 생기지만 자동적으로 시약을 공급할 때에는 정광품위에서 큰 변동이 없다는것을 알수 있다.

다음의 표에 수동적으로 시약을 공급하였을 때와 자동적으로 시약을 공급하였을 때의 비교분석결과를 보여주었다.

표. 시약공급에 대한 비교분석

	수동적인 시약공급			자동적인 시약공급		
	정 광	원 광	미 광	정 광	원 광	미 광
평균값/%	29.388 7	5.318 7	0.933 2	30.451 4	5.133 4	0.843 3
분산값/%	2.663 0	0.500 6	0.395 4	1.209 2	0.562 2	0.171 8

표에서 보는바와 같이 자동적으로 시약을 공급한 경우 수동적인 경우보다 평균 1.17%의 정광품위를 올릴수 있고 정광품위분산도 1.46% 작다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

린정광생산에서 중요한 부분인 정광품위안정화를 실현하기 위하여 종전에 부선운전 공들의 순수 감각에 의해서만 관리운영되던 부선공정에 지식기초모호조종방법에 의한 자동적인 시약공급체계를 확립함으로써 린정광품위의 안정화를 보장하면서도 실수률을 높일수 있게 하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 최명성 등; 지능조종학전서(모호조종), 공업출판사, 124~135, 주체106(2017).
- [2] 리원준; 광업, 1, 23, 1994.
- [3] 현금찬; 광업, 2, 44, 주체101(2012).
- [4] 전일; 광업, 1, 32, 주체97(2008).
- [5] L. O. Filippov; Minerals Engineering, 123, 213, 2018.

주체109(2020)년 11월 5일 원고접수

### **Design of Fuzzy Controller for Automatically Supplying Flotation Reagent in Production of Apatite Concentrate**

*Kim Nam Il, Choe Myong Song*

We designed a fuzzy controller which automatically supplied the flotation reagent by using the experience of flotation worker for production of an apatite concentrate and applied the result to apatite mine, thus made achievements.

Keywords: apatite concentrate, flotation reagent supply, fuzzy control