

Computer에 의한 原料調整 現況

宋 垣 鍾

<星信洋灰丹陽工場>

1. 緒 言

일반적으로 시멘트 工場에서 크링카 生産時 調合原料의 均質度는 시멘트의 품질 뿐만 아니라 소성공정의 안정화 및 생산성과 기타 원단위에 미치는 가장 중요한 요소가 되겠다. 이에 따른 기본적인 투자로서 원료조정면에 있어서는 螢光 X-ray analyser를 이용하여 신속한 조합원료의 성분분석 및 조정을 행하고 있는 것이 일반적인 경향이 지만 한 단계 더 나아가 computer 를 이용, 이를 자동제어함으로써 보다 더 완벽한 조합원료의 생산을 통하여 공정의 안정화와 품질향상을 제고시키고 다소간의 省力化를 기할 수 있는바 이에 대한 當社의 기본적인 現況을 제시하여 業界의 참고가 되었으면 한다.

2. 자동제어 시스템

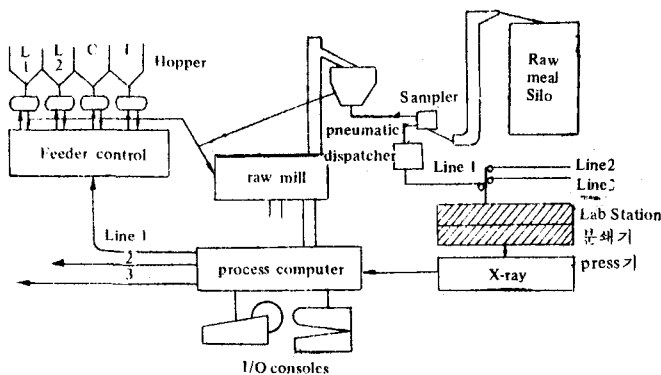
2-1 자동제어의 최종대상 : 조합원료의 주요 3種係數

$$1) \text{LSF} = \frac{\text{CaO}}{2.8\text{SiO}_2 + 1.1\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.7\text{Fe}_2\text{O}_3} \times 100$$

$$2) \text{S.M} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$3) \text{I.M} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

2-2 자동제어 계통도



<그림 - 1> 자동제어 계통도

2-3 기계적 구성

- 1) automatic sampler : air slide 끝 chute에서 screw-conveyer에 의한 인출 방식.
- 2) pneumatic dispatcher & pneumatic post : 압축공기에 의한 시료수송 canal pipe 내를 왕래하며 sampling된 시료가 시료 분쇄기에 투입됨(PFAFF:獨).
- 3) sample mill : vibrating disk type으로 disk 하부에 outlet damper가 있음 (HERZOG:獨).
- 4) sample presser : ring type(HERZOG:獨).
- 5) 螢光 X-ray analyser : multi channel type(MRS-301:獨).
- 6) digital computer system : hard ware PDP 11/34(D. E. C :美).
soft ware DOS9(B. B. C :스위스).

3. 自動制御의 input data와 制御方法

3-1 input data類

- 1) 各原料의 化學成分
石灰石, 粘土, 鐵鑛石 등 主原料의 3種 係數에 關係되는 化學成分(wet base)
- CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃
- 2) 各原料 係數의 set point
- 3) weigh feeder의 限界值
最大, 最小값을 制御할 수 있음.
- 4) control coefficient
各係數의 진폭과 수렴속도를 지배함
- 5) 各係數 調整의 우선순위
3種의 原料使用時는 4成分에 의한 3種係數를 모두 만족시킬 수 없으므로 각 계수 調整에 있어서 편차가 있을시 그 調整의 우선순위 및 調整방법을 지배하는 program으로 그 program 내용은 우선 LSF를 set point에 맞게하는 것을 최우선으로 하고,
 - ① S.M과 I.M을 비교하여 기준치에서 편차가 더 큰것을 調整하는 방법
 - ② S.M만을 調整하는 방법
 - ③ I.M만을 調整하는 방법으로 되어있으며,
당공장은 주로 ①의 방법을 사용하고 있다.

3-2 제어방법

1) computer의 feed back data와 output 항목

- ① feed back data : (가) 各 weigh feeder의 dynamics(total, ratio)
 (나) 螢光 X-ray analyser에 의한 화학분석치(원료계수)
 (다) 3-1의 data

② output 항목 : (가) 各 weigh feeder의 dynamics

2) weigh feeder 제어(output)에 대한 response의 delay time : computer에 의해 output된 weigh feeder의 변화량(setted value)에 대한 response로서의 feed back 값은 일정시간이 지난 다음 sampling하여 분석을 시행, 각계수의 set point에 맞게 다시 weigh feeder 값이 output되므로 연속적인 control이 아닌 step control이 되며 이때 일정시간의 간격은 output에 대한 response의 delay time으로 볼 수 있으며 total delay time(T_D)은 아래와 같은 항목들이 있게 된다.

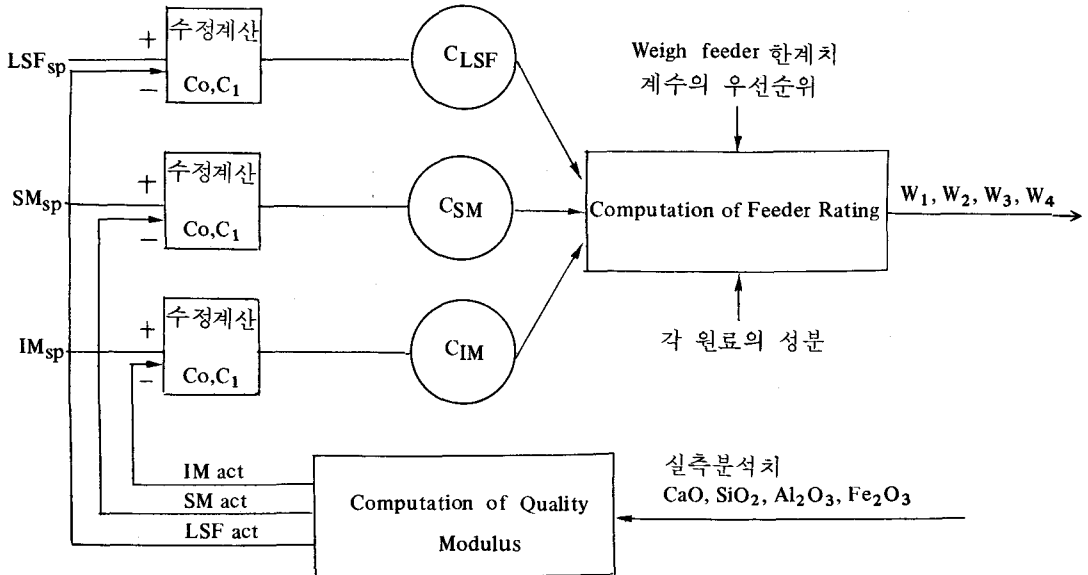
$$T_D = T_{CB} + T_{RM} + T_s + T_{SM} + T_{SP} + T_X$$

CB : conveyer belt SM : sample mill
 RM : raw mill SP : sample presser
 S : sampler X : X-ray

이때 $t = k \cdot T_D$ 가 되는 매 시간마다 sampling을 하여 분석한다.

3) 제어치 계산 절차

실측치가 feed back되면 그 화학성분을 원료계수로 계산한 후 set point와 비교



<그림 - 2> 계산절차 계통도

하여 weigh feeder 限界值, 係數의 우선순위 등을 감안하여 set point와의 차이만큼을 보상할 수 있는 계수치(C_{LSF} , C_{SM} , C_{IM})를 계산한 후 이에 해당하는 만큼의 weigh feeder를 control 하게 됨.

4) 제어치 계산 공식

아래와 같은 방정식에 의하여 set point와의 차이만큼을 보상할 수 있게 된다.

$$CM = C_0(SP - M) + C_1(SP - M_{-1}) + CM_{-1} \dots\dots\dots(1)$$

즉 analog PI control 형태의 식이 되며 여기서

C_0, C_1 : Control의 진폭등을 결정하는 constant로서 대략

$$1 < C_0 < 2, \quad -1.2 < C_1 < -0.5 \text{의 값임.}$$

SP : 各 modulus의 set point

M : 실측치에 의해 계산된 各 modulus

M_{-1} : 해당 부호의 이전의 값.
 CM_{-1} : 해당 부호의 이전의 값.

上記 항목중 C_0, C_1 의 값은 raw mill 별, 原料係數의 種別로 다소 다르며 이의 값에 따라 PI control의 형태가 수렴되기도 하고 확산 또는 불안정한 형태를 보이기도 한다.

또한 raw mill 容量의 大小, 碎分쇄물의 입도와 grindability 등에 따른 delay time, control loop에서 일어나는 noise의 빈도수 및 크기에 따라 이 C_0, C_1 의 값의 결정에 상당한 유의를 필요로 하며 유의사항은 $K_1 = \frac{C_0 - C_1}{2}$, $K_2 = \frac{C_0}{C_1}$ 의 값으로 표시 된다고 한다.

즉 K_1 의 값이 크면 control 폭이 커지며 K_2 값이 크면 불안정한 상태를 보이므로 이는 control loop의 특성에 적절히 맞추어 주어야 한다.

여기서 위의 CM_{-1} 값이 M값과 동일하게 나타나는 이상적인 control loop일 때 즉 computer에 의해 control된 조합원료가 단 1회내에 control된 값과 동일하게 feed back되는 상황일 때 K_1 값과 K_2 값의 차이에 따라 어떤 disturb에 대한 control값의 변화 일례를 도사하여 보았다.

즉 LSF에 대해서 전제조건으로서

SP = 92, disturb data로서 $M_{-1} = 100$, $CM_{-1} = 96$, $M_0 = 98$ 이었다고 가정할 때 아래와 같은 각 조건에 따라 $CM_{i-1} = M_i$ 를 代入하여 풀면 조건의 <표 - 1>과 같은 control data를 얻게 된다.

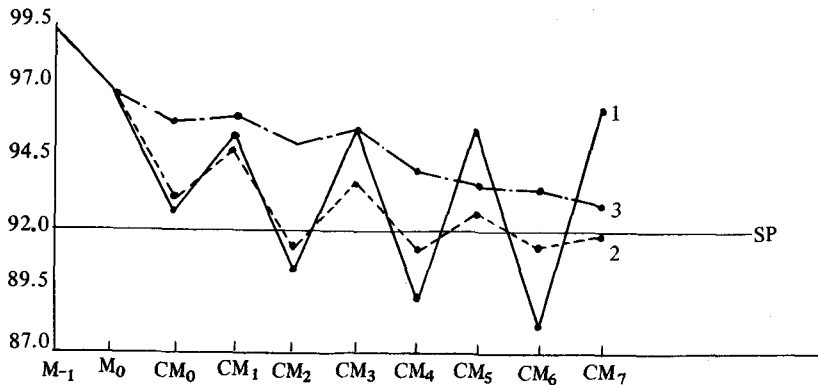
조건별 결과로서

(1) K_1 값이 크면 수렴치 않고 확산하게 된다.

즉 delay time이 control의 1주기 보다 클때 유리하게 된다.

<표-1> 조건별 CM_i 값의 계산

조건	K ₁ , K ₂ 값	CM ₀	CM ₁	CM ₂	CM ₃	CM ₄	CM ₅	CM ₆	CM ₇
1	C ₀ = 1.5 C ₁ = -0.75 즉 K ₁ = 1.25, K ₂ = -2	93.0	96.0	90.8	95.6	89.3	96.1	97.9	97.1
2	C ₀ = 1.2 C ₁ = -0.6 즉 K ₁ = 0.9, K ₂ = -2	93.6	95.3	92.3	93.9	91.8	92.7	91.7	91.8
3	C ₀ = 1.0 C ₁ = -0.8 즉 K ₁ = 0.9, K ₂ = -1.25	96.4	96.8	95.5	95.8	94.8	94.3	94.2	93.8



<그림-3> 조건별 CM_i 의 그래프

(2) K₂ 값이 작으면 control 폭이 너무 작아서 SP에 이르기까지 장시간을 요하게 된다.

4. 自動制御 前後의 效果

螢光 X-ray analyser만을 이용했을 경우를 수동으로 간주하고 자동제어와 data를 비교한 결과 다음과 같다.

비교기준 : blending 을 위한 silo batch당 각 계수의 σ의 평균치

<표-2> 각 계수별 Silo batch당 σ의 평균치

line別	方法別	係數別	LSF	S M	I M	備 考
RM 1+2 (135 t/h)		수동(n=28)	2.91	0.043	0.072	1 batch ≒ 2,000 tons
		자동(n=84)	2.12	0.042	0.062	
RM ₃ (300 t/h)		수동(n=48)	3.26	0.051	0.064	1 batch ≒ 2,400 tons
		자동(n=132)	2.57	0.036	0.065	

5. 結 言

- (1) control loop상에서 noise 즉 주원료 품위변화, weigh feeder의 변화, hopper 내부 이상 등의 크기와 빈도수가 적어야 자동제어가 가능하며 noise가 많으면 이에 대한 설비가 보다 더 복잡하게 된다.
- (2) 주원료 품위에 따라 원료계수 상호간의 변동폭이 달라지므로 이에 적합한 계수, control program을 이용해야 한다.
- (3) raw mill의 특성과 주원료 物性에 따른 delay time을 감안, 이의 과학적인 operation을 필요로 한다.
- (4) raw mill의 용량이 큰 것, 즉 delay time이 길때는 螢光 X-ray analyser로 분석하여 경험에 의한 대략적인 원료 조정보다는 computer에 의한 원료조정이 효과가 큰 것으로 나타났다.
- (5) 주원료가 4종 이상인 경우는 computer에 의하여 3종의 원료계수를 보다 더 정확히 조정할 수 있을 것으로 본다.
- (6) 人力은 automatic system이 전보다 반 이하로 operation에 임하고 있다.