

고로내 용선성분[Si,S] 예측모델 개발

정진원, 최태화

포항제철소 공정부

ABSTRACT

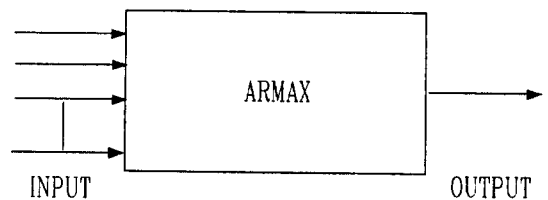
고로에서 출선된 용선성분중 [Si]은 노열 판단의 대표인자이며, 용선의 열원역활을 함과 동시에 탈P 작업의 저해 요인이자 Slag발생, 전로 Stopping발생의 원인이기에 적절한 저[Si] 용선을 제조할 필요가 있다. 또한 [S]는 강의 불순물이자 수요가의 요구로 저[S] 용선제조가 요구된다. 이를 위해 후공정인 제강공장에 가기전에 100% 용선예비처리를 실시하고 있다. 본연구에서는 기존의 용선성분 분석방법으로는 효율적인 용선 예비처리가 불가하므로 시계열분석 및 중회귀분석을 통하여 성분을 사전예측하여 시간의 한계를 극복하고, 예측된 성분에 의하여 효율적인 예비처리 실시 또는 예비처리 없이 제강직송도 실시하는등 제철소 공정통제 기능의 하나인 용선관제기능의 적극적인 대응이 가능하도록 한다.

1. 서론

현재 용선의 성분[Si,S]분석절차는 출선된 용선을 고체시료로 만든후 분석실에서 분석되어 B/C를 통하여 그 결과가 관련부서에 보내지나 이 과정에 장시간이 소요되어 효율적인 예비처리를 취하기 어려운 실정이다. 이의 해결을 위해 실시간 분석이 가능한 Si-Sensor, Laser-spectrum기가 도입되어 TEST중에 있으나 본 연구에서는 통계적기법에 의해 분석결과를 사전예측하여 출선예정정보에 연결시킴으로서 시간의 한계를 극복하고 용선성분에 따라 고로용선 Mixing, 제강직송등 효율적 용선관제를 실시하고자 했다. 이를 위하여 [Si]예측에는 시계열예측모델을 적용하였으며, [S]의 경우 예측된 [Si]값을 이용하여 중회귀분석을 이용 수식모델을 개발하였다. 이는 시계열예측모델의 경우 산출에 시간이 많이 걸리기에 [Si]에만 적용하고 [Si]과 [S]가 상관성이 높기 때문에 [S]는 간단한 수식모델을 적용했다.

2. 시계열 모델에 의한 [Si]예측

고로에는 여러지점에 각종Sensor들이 부착되어있는데 이들 측정치들의 정보를 입력값으로 하여 [Si]농도의 변동을 예측해내는 다중입력단일출력 형태의 선형동적계로 구성된 자동회귀이동평균(ARMAX:Auto-Regressive Moving Average with auXiliary input)모델이 개발되었다.



(그림2.1) ARMAX I/O MODEL

(그림2.1)의 모델에 대한 수식은 식(2.1)과 같다.

$$Y(t) + a_1Y(t-1) + \dots + a_rY(t-r) = b_0X(t-d_1) + b_{11}X(t-d_1-1) + \dots + b_{1s}X(t-d_1-s_1) +$$

$$: \\ : \\ b_{m0}Z(t-d_m) + b_{m1}Z(t-d_m-1) + \dots + b_{mr}Z(t-d_m-s_m) + \\ coe(t) + c_{1e}(t-1) + \dots + c_{ue}(t-u) \quad (2.1)$$

식(2.1)에서 d_1, d_2, \dots, d_m 은 각 입력인자들의 Y에 대한 지연시간(delay time), $e(t)$ 는 백색잡음, $a_1, \dots, a_r, \dots, b_{10}, \dots, c_u$ 은 측정된 공정변수들을 이용하여 찾아야 할 계수들이다. $X(t-d_i)$ 은 $t-d_i$ 시간의 공정변수의 값이다. 식(2.1)의 $e(t)$ 를 $W(t)$ 로 놓고 다시 정리해 보면

$$Y(t) = \theta^T \phi(t) + W(t) \quad (2.2)$$

여기서

$$\theta^T = [a_1, a_2, \dots, b_{10}, \dots, c_0, c_1, \dots, c_u],$$

$$\phi^T = [-Y(t-1), -Y(t-2), \dots, X(t-d_i), \dots, e(t-u)],$$

$W(t)$ 는 오차항

계수값을 구하는 방법은 반복적인 최소제곱합 RLS(Recursive Least Square), RELS(Recursive Extended Least Squares) 와 최우도함수 RML(Recursive Maximum Likelihood) 계산법등이 있다. 이들 방법은 일반적으로 다음과 같다.

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + \gamma(t) [Y(t) - \phi^T(t)\hat{\theta}(t-1)] \quad (2.3)$$

식(2.3)에서 $\hat{\theta}$ 는 추정치로서 $\gamma(t)$ 는 계수벡터의 개선방향 및 크기를 결정시켜주는 구실을 하는 것이며, $[Y(t) - \phi^T(t)\hat{\theta}(t-1)]$ 은 Y에 대한 error term으로 예측오차가 없어질 때까지 계속 계수 벡터를 개선해나가는 구조이다. 참고로 반복계수 알고리즘은 표2.1과 같다.

이 모델의 인자로 어떤 입력변수를 넣을지 결정

표2.1 우도함수를 이용한 반복적계수확인 알고리즘

$\theta(t+1) = \theta(t) + P(t+1)\alpha(t+1)[y(t+1) - \rho(t)(t+1)\theta(t)]$ $P(t+1) = [P(t) - P(t)\alpha(t+1)\beta(t)(t+1)P(t)] / (\lambda + \alpha(t+1)P(t)\beta(t+1)) / \lambda$			
방법	$\theta(t)$	$\rho(t+1)$	$\alpha(t+1), \beta(t+1)$
RELS	$\begin{bmatrix} a_1 \\ : \\ a_r \\ b_{10} \\ b_{tr} \\ c_0 \\ : \\ c_u \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -Y(t) \\ : \\ -Y(t-r) \\ X(t-d_1) \\ : \\ Z(t-d_t-st) \\ e(t) \\ : \\ e(t-u) \end{bmatrix}$	$\alpha = \beta = \rho$ $\lambda = 0.9 \sim 0.99$

하기 위하여 풍량, 조습등 16개 인자를 대상으로 상관성분석을 실시하였으며 Tap간격과 시간 간격별로 반복분석하여 입력변수와 지연시간(Lead Time)을 선정하였다. 풍량의 경우 상관성이 없으나 작업자들이 노열조정을 위해 조습조절과 함께 많이 사용하는 인자이므로 선정했다.

본 모델에서는 차수를 모두 2로 하였으며, 주요 입력 변수와 지연시간은 표2.2와 같다.

표2.2 최종선정된 입력변수 및 지연시간

입력변수	지연시간(Tap)
Blast Volumn	-1
Blast moisture	-3
Top gas temperature	-1
Ratio of gas utilization	0
장입 Speed	-1
Hot metal temperature	0
Si	-1

3. 반응변수들간의 상관성분석

고로에 들어가는 장입원료와 미분탄취입, 조습, 산소취입량, 송풍량등의 여러가지 인자로 인해 나타나는 노내반응의 결과는 용선온도와 성분이다. 또한 작업자들은 전Tap의 용선성분이나 온도등 정보를 상당히 중요시 하고있기에 이를 예측모델에 반영하기위해 다음과 같은 항목을 분석하였다.

- 반응변수들간의 상관성(표3.1)
- 전Tap과 현Tap간 반응변수들간의 상관성(표3.2)
- 출선구별로 차이점이 있는가.

분석결과 출선구에 따른 차이점은 없었으나 전·후Tap간 성분은 상당한 연관이 있어 올바른 작업이 이루어지고 있음을 증명하며 [Si]과 [S] 간에 상당한 음상관성이 있다. 결론적으로 현 Tap의 [Si]과 [S]가 상당한 관계가 있고, [Si]예측 모델이 모든 조업인자를 반영하여 시계열로 예측되므로 [S]의 예측을 위해 모든 변수에 대한 주요인자를 재선정할 필요는 없으며, 예측된 [Si]값과 전Tap의 [S]성분등을 이용하면 쉽고 빠르게 [S]의 예측이 가능할수 있다.

표3.1 Si,S,용선온도간 Pearson상관계수(n=198)

구 분	Si	S	용선온도
Si	1.0000	-0.6004	0.6001
S	-0.6004	1.0000	-0.4607
용선온도	0.6001	-0.4607	1.0000

표3.2 전Tap과 현Tap간 Pearson 상관계수

구 분	Before Si	Before S	Before 온도
Si	0.6866	-0.3979	0.2746
S	-0.3907	0.6074	-0.1702
용선온도	0.3568	-0.2497	0.2854

표4.2 모델적용 TEST결과

구분	Si	S
기간	95.10.6~13(68Tap)	
종류	ARMAX모델	수식모델
적중률	80.9%	83.8%
적중기준	● 운영기준과 ±0.1이하 0.5이하 : 직송 0.51~0.8: 탈규 0.81~1.1: Mixing 1.11이상 : 주선	● ±0.005이하

4.[S]예측 수식모델

$$S = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + \epsilon \quad (4.1)$$

식(4.1)의 중회귀분석에 의해 모델을 구했으며, 주요변수로는 전·후Tap간 온도, Si, 전Tap S이다. 이중 현Tap Si성분은 Si예측모델에 의한 예측값이다. 전Tap의 값을 사용함으로써 다중공선성이 존재할 가능성에 유의했으며, 전Tap온도의 경우 전·후Tap의 Si성분이 반영되어 있어 다중공선성의 존재하고 Si성분이 S와 더욱 밀접하므로 제거했다. 또한 Si과 S는 비선형관계이므로 $R^2(=0.6483)$ 값 향상을 위해 변수변환을 실시했으나 크게 향상을 보이지 않아 변수변환하지 않았다.(표4.1)

최종 선정된 모델은 (4.2)와 같고 개발된 모델로 실조업에 적용한 결과는 표4.2에 나타내었다.

$$S : 0.085+0.66[S(\text{전Tap})]-0.027[Si]+0.021[Si(\text{전Tap})]-0.00005[\text{용선온도}] \quad (4.2)$$

표4.1 변수변환에 의한 모델들의 R^2 값

수 식	R^2
$S = \text{Log}(S)$	0.6935
$S = \text{SQRT}(S)$	0.6806
$Si = \text{Log}(Si)$	0.6717
$S = 1/S$	0.6590

5. 결 론

중회귀분석에 의한 수식모델과 시계열 예측모델의 적중률은 Case By Case로 다르겠으나 변동이 심한 [Si]의 경우 시계열 예측이, 변동의 편차가 적은 [S]는 간단한 수식모델이 적정할 것이다. 당소 4고로에만 적용했으나 향후 더욱 정밀한 모델개발을 통해 전고로에 적용, 인원의 효율적사용과 자동화에 많은 기여를 할수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 최태화, 용선중 규소농도예측모델개발(1988)
- [2] George. E.P.Box & Gwilym M. Jenkins, "Time Series Analysis Forecasting and Control (1994)
- [3] Rolf Isermann, "Digital Control Systems", Springer-Verlag (1981)
- [4] 허명희, "SAS 회귀분석", 자유아카데미(1990)