

연속적인 모델 업데이트를 이용한 회분식 공정의 모니터링

(On-line Batch Process Monitoring Using a Consecutively Updated
Multiway Principal Component Analysis Model)

유창규

Abstract

회분식 공정의 이상감지를 위해 다방향 주 성분 분석이 주로 이용되고 있는데 이 방법은 한 번 모델이 만들어지면 고정된 채 새로운 회분 데이터를 감시하는 단점을 가지고 있다. 따라서 꾸준히 조업상황이 바뀌는 실제 공정에서는 정상 조업임에도 불구하고 이상이 생겼다는 잘못된 결과를 보이는 경우가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 회분 공정을 보다 정확하게 감시하기 위해 모델을 꾸준히 업데이트 시키는 방법을 제시하였다. 일단 개수가 정해진 정상 회분 데이터들을 이용하여 모델을 구성한 뒤 새로운 회분 공정을 감시한다. 만약 새로운 회분 공정이 정상 조업으로 판단되었으면 이 회분 데이터가 정상 회분 데이터에 들어가고 가장 오래된 회분 데이터는 모델에서 제거된다. 즉 정상 회분 데이터가 최근의 회분 데이터를 반영하기에 약간씩 변이를 갖는 회분 공정을 감시하는 데 보다 정확한 결과를 보장할 수 있게 된다. 폐니실린 공정의 시뮬레이션 데이터를 이용하여 분석한 결과 제시된 방법이 변화하는 회분 조업에 대하여 계속하여 적응하기 때문에 새로운 정상 회분 조업에 대하여서도 정확한 모니터링 결과를 보여줬다.

내용

이번 연구 보고서는 연속적인 모델 업데이트를 이용한 회분식 공정의 모니터링에 관한 내용이다. 기존의 multiway principal component analysis (MPCA)를 이용한 방법은 모델이 고정되어 있기 때문에 전체적으로 조금씩 변이를 갖는 정상 조업 회분 데이터를 감시하는 데 있어 잘못된 이상 감지를 알리는 경우가 많다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 조금씩 변이를 가지는 일반적인 회분 공정을 보다 정확하게 감시하기 위해 모델을 꾸준히 업데이트 시키는 방법을 제시하였다. 일단 개수가 정해진 정상 회분

데이터들을 이용하여 모델을 구성한 뒤 새로운 회분 공정을 감시한다. 만약 새로운 회분 공정이 정상 조업으로 판단되었으면 이 회분 데이터가 정상 회분 데이터에 들어가고 가장 오래된 회분 데이터는 모델에서 제거된다. 즉 정상 회분 데이터가 최근의 회분 데이터를 반영하기에 약간씩 변이를 갖는 회분 공정을 감시하는 데 보다 정확한 결과를 보장할 수 있게 된다. 새로운 회분 공정이 이상 조업으로 판단되면 모델은 고정된 채 다음 회분 공정을 감시하는 데 그대로 이용되게 된다.

본 연구에서 제안된 회분 공정 모니터링 방법은 다음과 같다. 밑의 프로시저는 다차원 독립성분분석을 이용한 실시간 공정모니터링 방법의 순서가 정리되어있다.

On-line monitoring of measurement variables is carried out with the aim of continuously analyzing and interpreting the measurements in order to detect and isolate disturbances and faults. When MPCA is used to monitor an industrial process, the Hotelling T^2 statistic and SPE are usually investigated. However, the use of these statistics for monitoring can cause many false alarms when a fixed MPCA model is used to monitor the process. This can lead to new batches that are operating normally being reported as faulty. For processes with gradual batch-to-batch variations, the confidence limits for the Hotelling T^2 statistic and SPE will change from batch to batch, making adaptation of these limits necessary for on-line monitoring. In this section, we suggest a simple approach to on-line batch monitoring using the consecutively updated MPCA model. The procedure can be summarized as follows (Fig. 1).

- 1) Design an MPCA model based on a historical database of normal batches, as explained in Section 3.
- 2) A new batch is projected onto the designed MPCA model and it is determined

whether the batch is successfully operated on-line.

- 3) If the new batch is successful, it is entered into the database of normal batches and the oldest batch data is removed in the manner of a First In Last Out (FILO) stack, with the number of normal batches being maintained constant. A new MPCA model is then designed on the basis of the revised normal batches and its confidence limits are updated. If the new batch is unsuccessful, the MPCA model is not updated.
- 4) This procedure is repeated whenever a new batch is introduced.

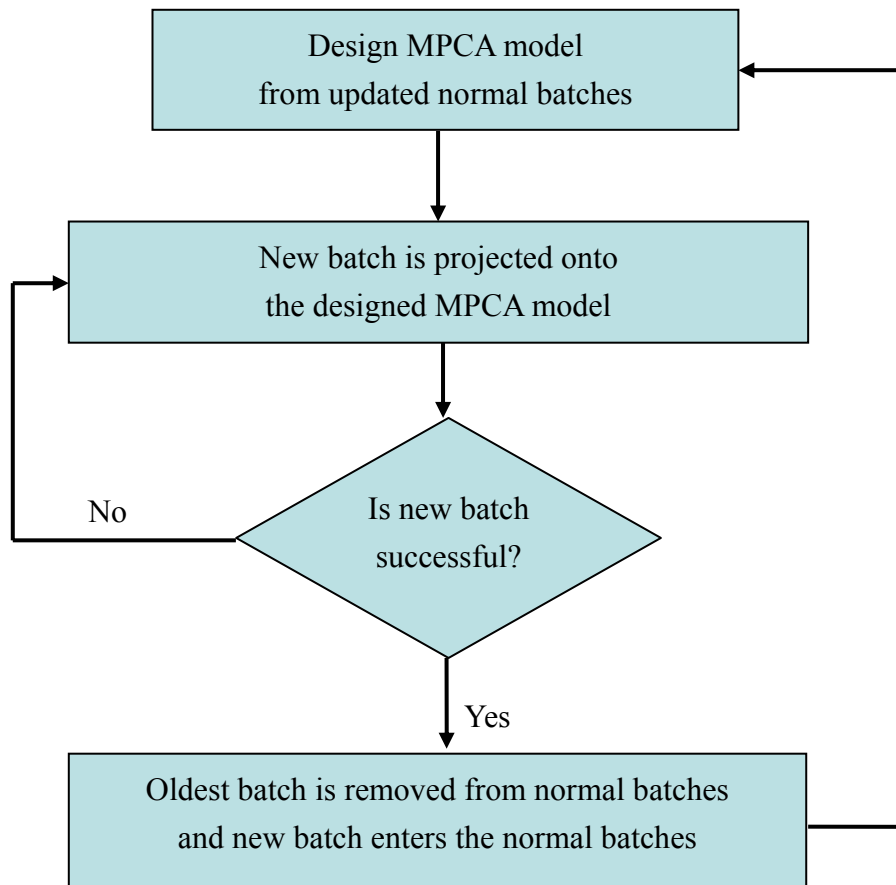


Fig. 1. Process monitoring scheme using a consecutively updated MPC model.

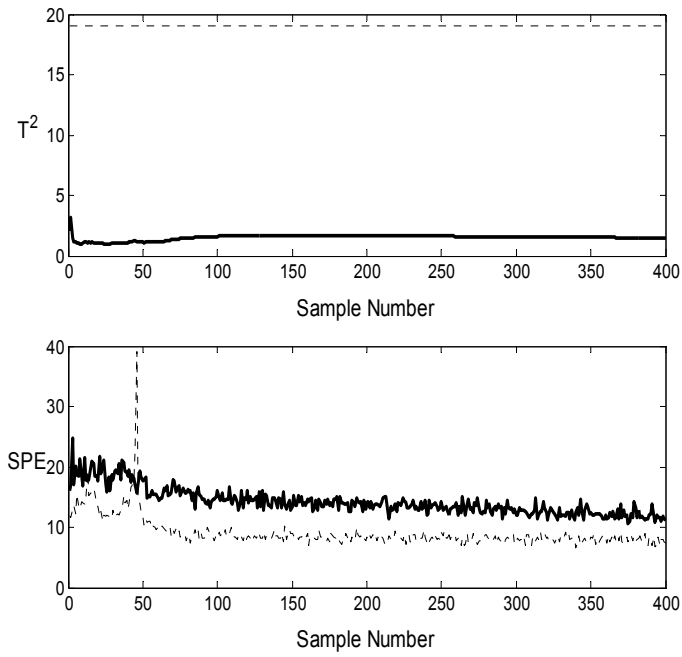
Simulation study

제시된 아이디어를 구현하기 위해 일리노이 대학의 prof. Cinar 연구실에서 개발한 페니실린 시뮬레이터를 이용하였다. 회분이 하나씩 진행될 때 마다 배양부피가 조금씩 증가하는 조업 데이터를 총 20 회분을 생성 하였다. Table 1은 연속적인 A series of 20 test batches (initial culture volume change)를 나타낸다.

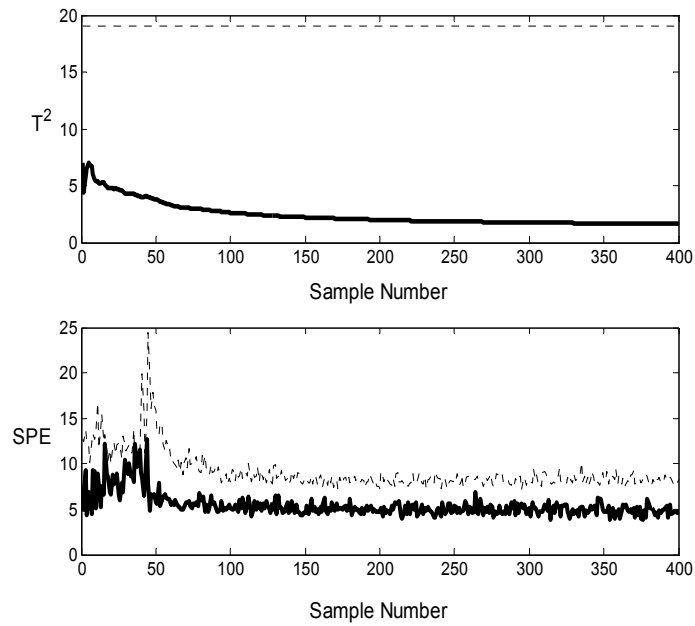
18 번째 회분의 모니터링 차트를 살펴보면 그림 3 에서 보는 바와 같이 기존의 방법은 새로운 정상 회분임에도 불구하고 SPE 값이 99% 신뢰 제어선을 처음부터 회분 끝까지 넘어 이상이 생겼다는 잘못된 결과를 보여준다. 이런 잘못된 정보는 조업자가 공정을 운전 하는 데 있어서 그릇된 정보를 제공 하기 때문에 전체적으로 공정의 효율을 떨어뜨리는 결과를 초래하게 된다. 이에 반하여, 제시된 방법은 모델을 꾸준히 업데이트 시키기에 새로운 정상 조업 조건에 대하여서도 잘 적응하는 결과를 보여준다. 그림 3 에서 보듯이 18 번째 회분의 경우 새로운 조업이 99% 신뢰 제어선을 벗어나지 않고 정상적으로 조업이 진행되고 있음을 확인할 수 있다.

Batch No.	Initial culture volume (L)	Batch No.	Initial culture volume (L)
1	101.7	11	102.3
2	101.8	12	102.6
3	101.9	13	102.4
4	101.9	14	102.5
5	102.0	15	102.5
6	101.8	16	102.6
7	101.6	17	102.7
8	102.1	18	102.8
9	102.2	19	102.9
10	101.9	20	103.0

Table 1. A series of 20 test batches (initial culture volume change) regarded as normal operation.



(a) MPCA



(b) MPCA with updating

Fig. 2. T^2 and SPE on-line monitoring charts using (a) conventional MPCA and (b) MPCA with updating for test batch No. 18, respectively.