

회분식 가스 제조 공정용 감시 시스템의 개발

이영학, 이돈용, 한중훈
포항공과대학교 화학공학과, 지능자동화 센터

Development of a Monitoring System for Batch Gas Manufacturing Processes

Young-Hak Lee, Don-Yong Lee, Chonghun Han
Department of Chemical Engineering and Automation Research Center,
Pohang University of Science and Technology

1. 서론

가스 제조 공정은 원료의 송입방법에 따라 연속식, 회분식, Cycle식으로 구분할 수 있다. 회분식의 경우는 석탄가스와 같은 원료를 일정량 취하여 가스화실에 넣어 가스화하고 가스가 발생하지 않으면 잔재(코우크스)를 제거한다. 이와 같은 조작을 반복하여 원료를 가스화한다. 이러한 공정의 감시제어는 가스제조상의 생산성과 수익성을 크게 증가시킨다.

최근 가스 제조 공정은 물론 여러 화학제품 제조 공장에 분산 제어 시스템, 공정 정보 시스템 등이 지속적으로 도입됨에 따라 방대한 양의 조업 데이터를 축적하고 활용할 수 있게 되었다. 이에 따라 공정의 이상을 조기에 감지하는 감시 기법들 또한 학계와 산업계의 많은 주목을 받게 되었으며 그 결과 획기적인 발전을 해 왔다. 이 중에서도 통계 공정 제어(Statistical Process Control) 등 품질 관리 기법들과 다변량 통계적 기법들은 많은 변수들이 서로 강한 상관 관계를 가질 때 이를 작은 차원으로 투영하여 공정을 감시할 수 있는 기술 - PCA(Principal Component Analysis), PLS(Partial Least Square method) 등 - 로서 주목받고 있으며 많은 성공적인 응용 사례들이 발표되어 왔다. 이러한 발전에도 불구하고 다품종 소량 생산 공정인 회분식 공정의 경우는 공정 특성상 기존의 연속식 공정에 이용되어 오던 기술을 이용하는 데 많은 어려움이 있다. 현장에서는 회분식 조업의 모든 단계들을 정확하게 분석하여 조업이 진행되면서 각 단계에 따라 공정 변수들의 추이와 운전원의 지식 기반을 중심으로 공정 감시를 해오고 있는 것이 실정이다. 그러나 변수들끼리의 상관 관계와 시간에 따른 그 변수의 비선형성 및 운전원의 부주의 등의 문제점으로 인해 신뢰성이 떨어진다.

이처럼 상태 변수들이 시간에 따라 변화함으로 인하여 평균값을 중심으로 정적인 데이터 분포를 갖는 연속 공정에 이용해 오던 PCA를 적용하는 데 어려움이 있다. 이는 MacGregor등이 발표한 multiway PCA를 이용한 감시 기법을 이용하면 쉽게 해결할 수 있으며 회분식 공정의 실시간 감시에 널리 이용되고 있다. 하지만

대부분의 경우 이러한 기술을 현장 조업자들이 쉽게 활용할 수 있도록 설계된 소프트웨어가 없어 기술 전파에 어려움이 있으며 이로 인해 스웨덴에서 개발된 Simca-P 등의 해석 소프트웨어를 이용하기는 하지만 다변량 통계적 기법과 프로그래밍에 대한 상당한 양의 지식이 필요하여 산업계에서의 본격적인 활용에 큰 제약 조건으로 작용하고 있다.

본 논문에서는 회분식 공정의 상태를 실시간으로 감시하고 진단할 수 있는 시스템을 소개하고자 한다. 본론에서는 시스템의 전체 구조와 기능을 설명한 후, 사례 연구를 통하여 개발된 시스템이 실제 공정의 감시 및 진단에 어떻게 활용되는가를 보여 주고자 한다. 결론부에서는 현재 진행 상황과 앞으로의 계획을 기술하고자 한다.

2. 본론

2.1 시스템의 구조와 기능

본 시스템은 공정정보시스템(Plant Information System), 데이터 전처리 시스템(Data Preprocessing System), 공정감시 시스템(Monitoring System), 이상진단 시스템(Diagnosis System)의 모듈들로 구성되어 있으며, 대략적인 전체구조는 그림 1과 같다.

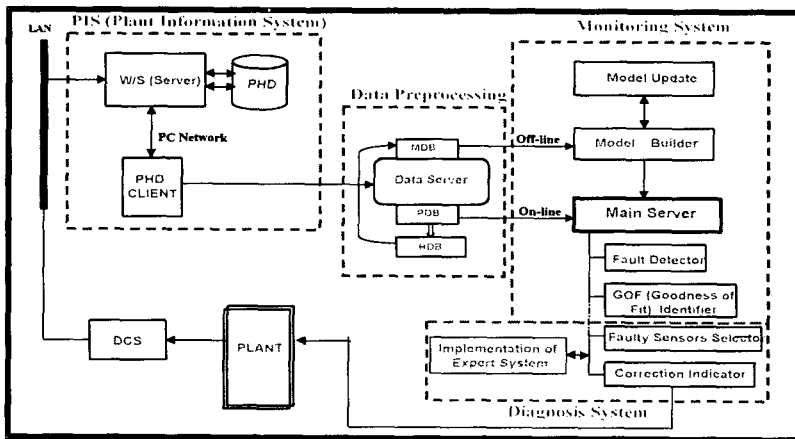


그림 1. 시스템의 전체구조

공정정보시스템은 DCS(Distributed Control System)로부터 운전자료를 실시간으로 자동 수집하여 생산, 조업, 운전관리에 필요한 정보를 실시간으로 제공해주고, 이력 정보를 압축 보관하여 항상 검색 및 분석을 가능하게 하는 모듈이다. 이는 오라클이나, PHD(Process History Database)라는 소프트웨어들을 통해 구현되며 네트워크를 통해 일반 PC의 사용자에게도 실시간으로 공정 데이터를 제공한다. 이 모듈은 Main Server내에서 작동하게 되는 데이터들을 제공하게 된다.

데이터 전처리 시스템은 PHD로부터 얻은 데이터를 적절한 신호 처리나 통계적 처리(노이즈 제거를 위한 다양한 필터, PCA 분석을 위한 데이터 변환)를 거쳐 모델링을 위한 데이터베이스(MDB)와 실시간 감시를 위한 데이터베이스(PDB)를 생성한다. 이는 본 시스템과 PHD의 데이터베이스 인터페이스인 ODBC(Open Data Base Connectivity)- Standard Database Access Library 이다 -를 통해 거의 모든 데이터베이스를 처리할 수 있다.

Main Server 엔진은 ODBC 기술, 공정감시 기술, 이상진단 기술을 포함하고 있으며, Microsoft Foundation Class(MFC)과 Visual C++을 이용, Microsoft Windows환경에서 구성하였다.

공정 감시 시스템은 크게 모델 구성이나 모델 개선을 위한 해석 부분과 실시간 감시를 할 수 있는 감시 부분으로 나누어진다. 해석 부분에서는 MPCA(Multiway PCA)모델의 구성은 물론 MDB (HDB)를 분석함으로써 정상조업(normal operation) 경향을 분석할 수 있고, 감시 부분에서는 실시간으로 들어오는 데이터를 이상 감지기(Fault Detector: T2 Statistics ,Score Charts)로 분석하여 회분식 공정의 현재 조업 상태의 정상여부를 판단할 수 있으며, 이를 제공하는 모델의 "goodness of fit(GOF)"를 보여줌으로써 GOF 확인기(SPE Chart)가 있다.

진단 시스템은 공정 감시 시스템과 결합되어 있어 이상 감지기나 GOF 확인기에서 감지된 이상현상 (fault)이 어떤 센서로부터 발생하였는지를 온라인으로 보여주는 이상 센서 선택기(Faulty Sensor Selector)와 그 이상에 대한 Corrective action 을 제공하는 수정 지시기(Correction Indicator)로 구성된다. 특히 이 진단 시스템은 본 시스템의 사용 횟수가 증가하면 할수록 공정 조업 지식이 축적되므로 시간이 감에 따라 보다 정확한 진단 시스템으로 발전하게 된다. 그림 2는 개발된 시스템의 화면이다.

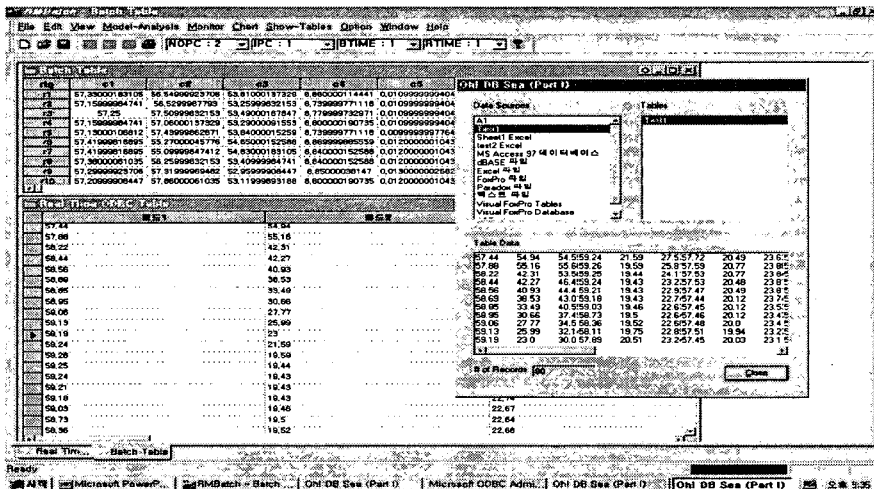


그림2 개발된 시스템의 초기화면

2.2 사례 연구

RMBatch를 이용하여 현재 산업체에서 운전 중인 회분식 반응기에 대한 공정 감시 시스템을 사례연구로서 구축해 보았다. 모델링에 이용한 데이터는 21개의 batch이며, 각 batch는 전 반응 동안의 반응기 온도나 압력 등의 추이를 바탕으로 선별했고, 11개의 변수와 241 sampling time이 존재하여 MPCA 모델링을 행한 결과 3개의 PC가 전체 조업변화의 75%를 설명하는 결과를 얻었다.

모델링이 끝나고 나면 다변량 SPC 감시 차트를 이용해 실제 감시가 이루어지며 이상 감지기와 GOF 확인기가 필요하다. k시간까지 얻어진 데이터를 바탕으로 앞으로 이 batch가 정상적인 조업으로 끝날 수 있는지를 판단하는 작업은 다음의 두 단계로 이루어진다. 첫째, 한 batch가 끝나는 시간까지 각 센서 값들을 예측한다. 둘째, 예측된 한 행의 데이터를 이미 구성된 모델에 투영하여 그 모델에 의해 구해진 한계 값들과 비교해 현재 조업중 어떤 시간에 이상이 발생했는지를, 또한 이 회분이 끝까지 정상적인 상태를 유지할 것인지를 판단한다.

특정 시간에서의 이상 유무는 GOF 확인기를 통해서, 이 회분을 재운전해야 할지는 이상 감지기를 이용해 결정하게 된다. 결국 이 RMBatch 시스템을 이용함으로써 비정상적인 거동을 보이는 조업뿐 만 아니라 조업자들의 조업 경험으로는 판단하지 못하는 조업 조건의 미묘한 이상도 조기에 감지할 수 있게 된다. 다음 3에서는 비정상인 회분이 한계값을 벗어남으로써 이상이 감지되는 것을 볼 수 있다.

또한 그림 3의 상세 이상 감지기의 제어 한계값을 넘어선 값들의 대한 각 변수의 기여도는 그림 4의 임의의 값에서의 기여차트를 통해 이상 원인 제공을 한 변수 및 적절한 처리를 할 수 있도록 가이드를 제공하게 된다.

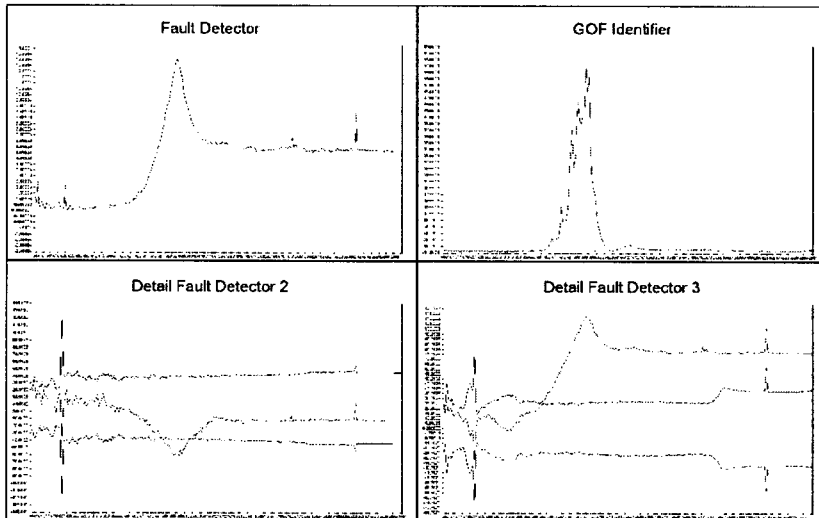


그림3 비정상 조업의 감시 차트들

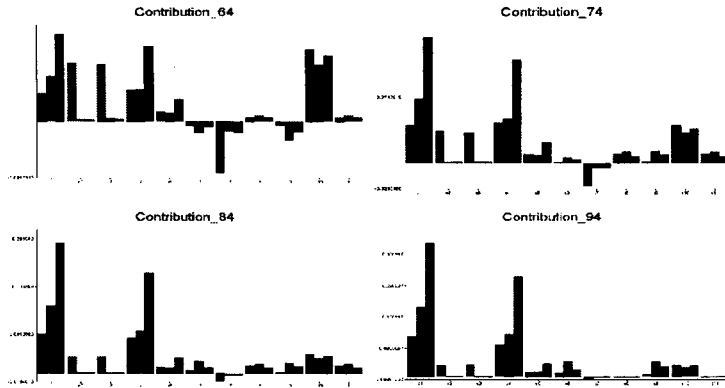


그림 4. 각 변수에 대한 기여도

3. 결론

본 연구에서는 다변량 통계적 분석 방법에 기반한 회분식 공정 감시 시스템의 prototype을 개발하였다. 개발된 시스템을 이용하여 회분식 고분자 반응기의 실시간 감시 시스템을 구축하는 데 사용하여 보았으며 그 결과 단기간에 효과적인 감시 시스템을 구축할 수 있었다. 사례 연구 결과 본 시스템은 실제 공장의 조업자들이 공정 조업상의 많은 이상들을 신속하고 정확하게 감지할 수 있도록 하여 조업상의 문제를 대처하는데 큰 도움이 될 것으로 판단되었고, 회분식 가스제조 공정같은 여러 회분식 조업에 널리 이용될 것이다. 현재 graphic user interface와 database와의 interface를 개발중에 있으며 추후 알고리즘 개선과 많은 사례 연구등을 통하여 시스템을 지속적으로 보완 개선하여 보다 정확하고 신속한 회분식 공정의 실시간 감시 시스템으로 개발할 계획이다. 개발된 시스템은 공정 조업 데이터들이 축적됨에 따라 계속 기능이 향상될 수 있는 시스템으로 감시뿐만 아니라 진단, 그리고 축적된 조업 데이터들의 해석을 통하여 공정 조업의 개선까지 할 수 있는 기능을 제공할 것이다.

감 사

본 연구를 위해 포항공대 공정산업의 지능자동화 연구센터를 통해 재정적 지원을 해주신 한국과학재단에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1]. Johnson, R.A. and Wichern, D.W.: *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 3rd ed., Prentice Hall(1992).
- [2]. Kourtis, T., P. Nomicos and J.F. MacGregor,: *Analysis, monitoring and fault*

- diagnosis of batch processes using multiblock and multiway PLS, *J. Proc. Cont.* **5**, 4, 277-284(1995).
- [3]. Kosanovich, K. A., K. S. Dahl and M. J. Pivoso,: Improved Process Understanding Using Multiway Principal Component, *Ind. Eng. Chem. Res.* **35**, 138-146(1996).
- [4]. Nomikos, P. and J.F. MacGregor,: Mutivariate SPC Charts for Monitoring Batch Processes, *Technometrics*, **37**, 1, 41-59(1995).
- [5]. Nomikos, P. and J.F. MacGregor,: "Monitoring Batch Process Using Multiway Principal Component Analysis, *AIChE*, **40**, 8, 1361-1375(1994).
- [6]. Nomikos, P. and J.F. MacGregor,: "Multi-way partial least squares in monitoring batch processes, *Chem. and Int. Lab. Sys.*, **30**, 97-108(1995).
- [7]. Shin, D. and V. Venkatasubramanian,: "Intelligent Tutoring System Framework For Operator Training for Diagnostic problem Solving'', Symp. on Comp. Pro. Eng.-6, *Comp. Chem. Eng*, s1365-s1370(1996).
- [8]. Zhang, J., Martin, E.B. and Morris, A.J.: "Fault detection and diagnosis using mutivariate statistical techniques'', *Trans IChemE*, **74**, A,89-96(1996).