

가 PTOP-Sensor™

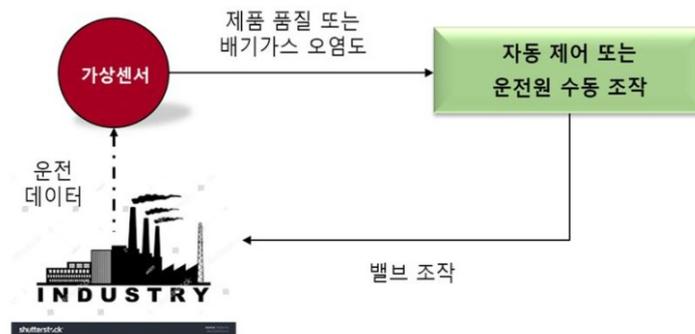
머신러닝 기법의 가상센서 계측 및 제어 솔루션 PTOP-Sensor™

고홍철(kohc@techdas.co.kr) / ㈜테크다스
www.techdas.co.kr

AI의 활성화와 함께 가상센서(Virtual Sensor) 또한 여러 분야에서 다양하게 적용되고 있다. 공장에서 말하는 가상센서란 온도, 유량, 압력, 암페어와 같은 물리적인 센서가 만들어낸 데이터를 결합하여 제품 품질이나 환경 오염물질 농도, 또는 공정 상태와 같은 새로운 값을 예측하는 가상적인 소프트웨어 센서이다. 공장 운전 데이터와 실험값 간의 패턴을 머신러닝 알고리즘으로 파악하여 공장 운전에 필요한 2차적 성질을 예측한다. 가상센서는 고정식 온라인 하드웨어 분석기(이하 분석기)를 대체하거나, 분석기의 활용도를 높이는데 적용된다.⁽¹⁾

- 수억 원 고가의 분석기를 대체
- 고장이 잦은 분석기를 백업
- 분석기의 시간 지연이나 노이즈를 개선
- 실험실 오프라인 분석 기술의 온라인 구현

인더스트리4.0 기술개발을 촉진하기 위해서 하드웨어 센서 기술, IoT, 빅데이터 등의 IT/DT 기술 등과 병행하여 가상센서와 같은 가상 물리시스템(Cyber Physical System) 개념의 소프트웨어적 기술 확보가 필요하다. 가상센서는 가상 물리 시스템의 구성요소로서 이를 이용하여 간단하게 제어 시스템을 구성할 수 있다. 시스템은 운전 데이터를 수집하는 인터페이스, 제어점을 도출하는 소프트웨어 및 컴퓨터, 제어 시스템이나 운전자에게 결과를 출력하는 인터페이스로 구성된다.



1. 가

PTOP-Sensor™

기술 동향

시장 조사 업체 MarketsandMarket사가 2019년 4월 발행한 보고서에 의하면 전 세계 가상센서 시장은 2018년 2.35억 US\$에서 2023년에는 9.10억 US\$로 약 4배로 성장할 것으로 예상된다.⁽²⁾ 동 기간 연평균성장률 CAGR이 31.1%에 달한다. 이와 같은 고성

장의 동인으로 하드웨어 분석기 대비 도입 비용이 저렴하다는 장점 외에 IoT 기술의 발전을 들고 있다.



2. MarketsandMarkets 가

실행 절차

가상센서 시스템은 공장의 실시간 데이터 저장 장치(Data Historian)로부터 운전 데이터를 수집한 후, 데이터의 전처리, 예측센서의 고장진단, 가상센서 머신러닝, 제어점 도출 순서로 알고리즘을 실행하고, 결과를 자동 제어 시스템이나 운전자용 HMI에 출력하는 과정으로 진행된다. 단, PTOP-Sensor™는 가상센서 예측값 뿐만 아니라 공장을 어떻게 제어할 것인가의 가이드를 제공하는 기능이 추가되어 있다. 시스템의 실행 단계와 내용은 일반적인 공장 모니터링 시스템과 유사하며, 미국의 테네시 대학에서 제시한 실시간 모니터링 시스템 가이드에 따른다.⁽³⁾



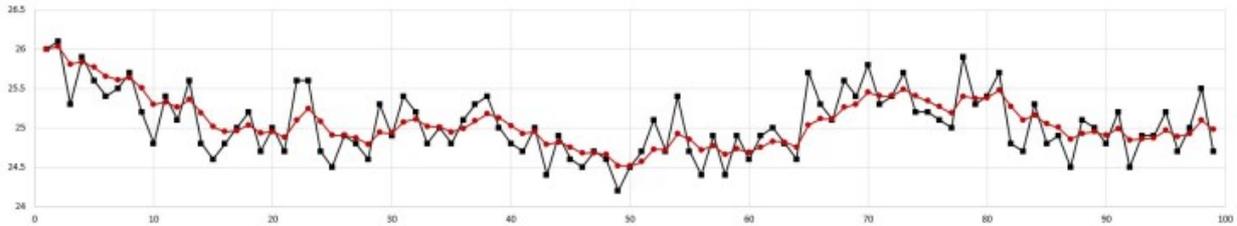
3. 가 PTOP-Sensor™

(1) 데이터 입력

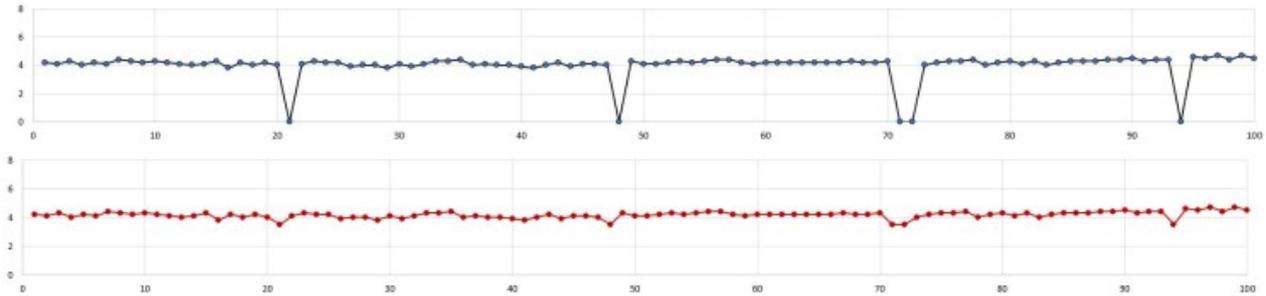
PTOP-Sensor™은 공정 컴퓨터 네트워크에 설치된 실시간 데이터 저장 장치로부터 가상센서 시스템이 요구하는 운전 데이터를 수집한다. 데이터는 csv, my SQL, MS SQL를 통해 읽어 들인다. 데이터 수집 시간 간격은 가상센서의 실행주기에 따르며, 공정 변화에 따른 민감도(Time Constant)나 지연시간(Dead Time)에 따라 결정된다. 보통 짧게는 1분에서 길게는 1시간 주기로 실행한다.

(2) 데이터 전처리

수집한 데이터 중에 결함이 있거나 비정상적인 것을 제거하고, 센서가 갖는 노이즈를 필터링하는 전처리(Preprocessing) 과정이 필요하다. PTOP-Sensor™는 통신 결함을 나타내는 비수치적인 데이터나 공장 가동 중지 상태에서 발생하는 데이터를 선별하고, 이를 센서 고장진단 단계에서 식별할 수 있도록 표식을 부여한다. 그리고 노이즈를 무디게 해주는 지수가중이동평균(Exponential Weighted Mean Average) 필터와 크기가 큰 피크를 제거하는 대역밴드(Band-pass) 필터를 선택적으로 사용한다.



4. 가



5.

(3) 센서 고장진단

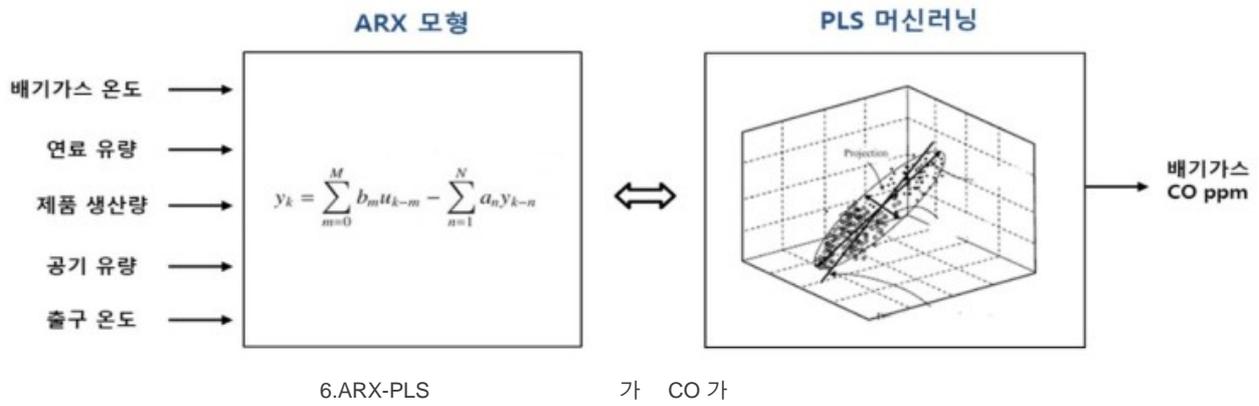
측정센서가 고장으로 인해 실제와 다른 값을 출력하면 이 값을 받아 계산하는 가상센서도 실제와 다른 값을 출력한다. 따라서 측정센서의 고장을 미리 식별하고 근사값으로 보정하는 과정이 필요하다. 측정센서도 머신러닝 모델로 예측하고, 예측값과 실제 측정값의 차이를 최소화 하는 알고리즘을 통해 측정센서의 고장 여부를 식별한다. 고장으로 식별되거나 데이터 전처리 단계에서 이상으로 판단된 측정센서는 머신러닝 모델의 예측값으로 보정한다.

	측정	예측	차이	고장	보정 값
GT Outlet T	660.5	666.3	5.8	No	660.5
Air Comp Disch P	20.6	20.8	0.2	No	20.6
Air Comp Disch T	416.2	418.0	1.8	No	416.2
Fuel F	82.3	83.0	0.7	No	82.3
Preheater Outlet T	150.0	211.4	61.4	Yes	211.4

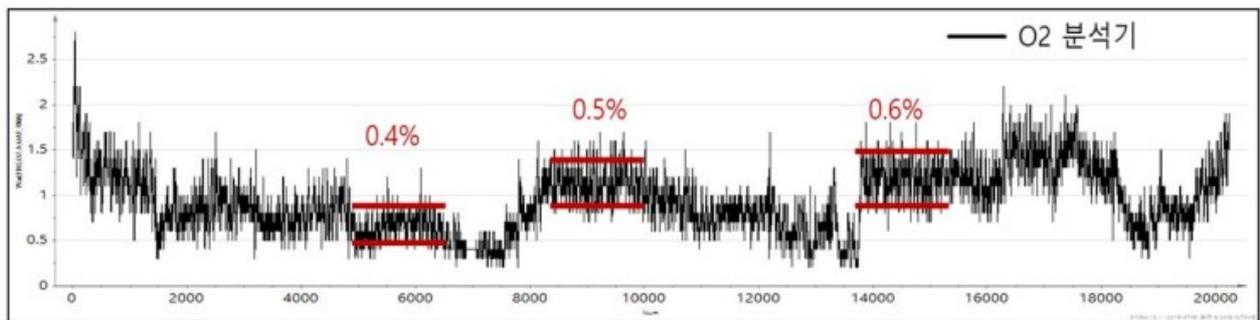
1.

(4) 가상센서 모델

제조 공장에서는 머신러닝 기법보다는 측정값의 노이즈가 가상센서의 정확성에 더 크게 작용한다. 즉, 가상센서의 오차는 공정 모델의 비선형성보다는 학습용 데이터의 대표성이나 전처리 성능에 기인한다. 이러한 점을 고려하여 PTOPI-Sensor™는 비선형 모델 대신에 차수감축 모델로 구분되는 PLS(Partial Least Square)로 선형 모델을 구축하며, 공정이 갖는 시간차 동특성을 반영하기 위하여 ARX(Auto-Regressive eXogenous) 개념을 병행하여 적용한다. PLS 기법은 특히 노이즈 제거 기능이 우수하여 노이즈로 인해 어려움을 겪는 공장 데이터를 처리하는데 효과적이다.



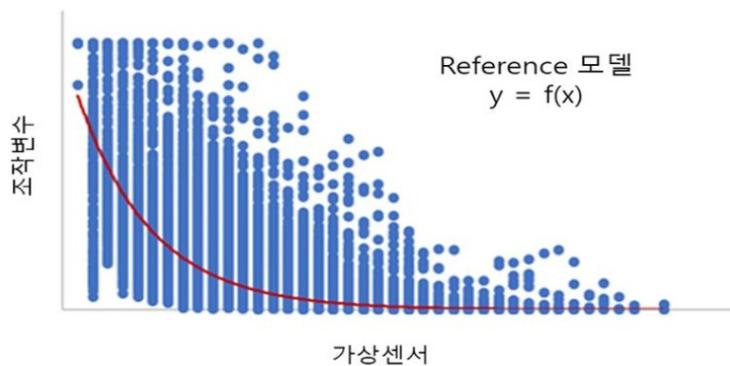
머신러닝 모델의 정확성은 상대오차, 즉 실제 측정값과 가상센서 예측값의 차이를 실제 측정값으로 나눈 값으로 평가한다. 신뢰도 구간 95%를 적용하여 가상센서의 예측 불확실성으로 평가한다. 정확성 목표를 설정하는데 있어서 측정값의 노이즈를 고려하여야 한다. 참고로 <그림 7>의 O₂ 분석기는 노이즈 분포가 0.4 ~ 0.6%이므로, 95% 신뢰도 구간을 이보다 작게 설정해서는 안된다.



7. 가 O₂

(5) 제어 가이드선스

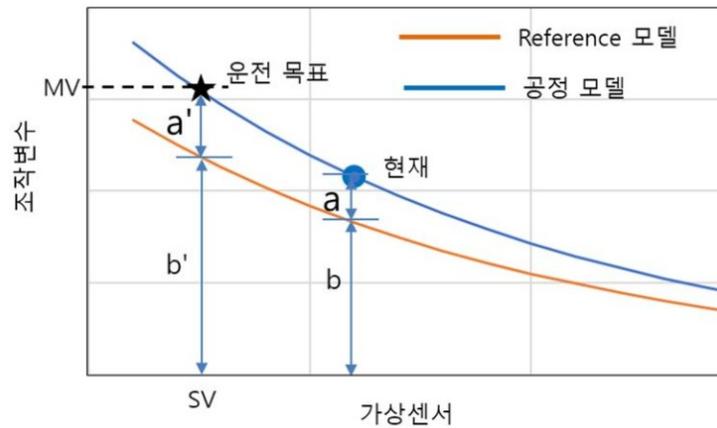
가상센서 예측값이 목표치(Set Value)와 다르다면, 목표치를 달성하기 위하여 필요한 조작변수 값을 운전자에게 제공한다. 조작변수의 변화는 가상센서(즉 제어변수)에 대한 상관식을 통해 이루어진다. PTOP-Sensor™에서는 두 변수 간의 상관관계를 비선형식으로 표현한다. 과거의 데이터들을 이용하여 주어진 비선형식에 대해 확률적으로 가장 근사하도록 회귀하여 Reference 모델을 결정한다.



8. Reference

<그림 8>에서 알 수 있듯이 실제 공장 데이터는 Reference 모델 곡선을 중심으로 분산되어 나타나는데, 이는 운전 모드나 사용 연료 변경, 운전 부하의 변화 또는 비정상상태 등의 원인 때문이다. 정확한 Reference 모델을 위하여 열역학적으로 정밀한 모델이나 비정상상태의 모델을 사용할 수 있겠지만, 제어 속도를 빠르게 하는 것이 더 중요하기 때문에 PTOP-Sensor™는 짧은 주기로 실행하는 단순

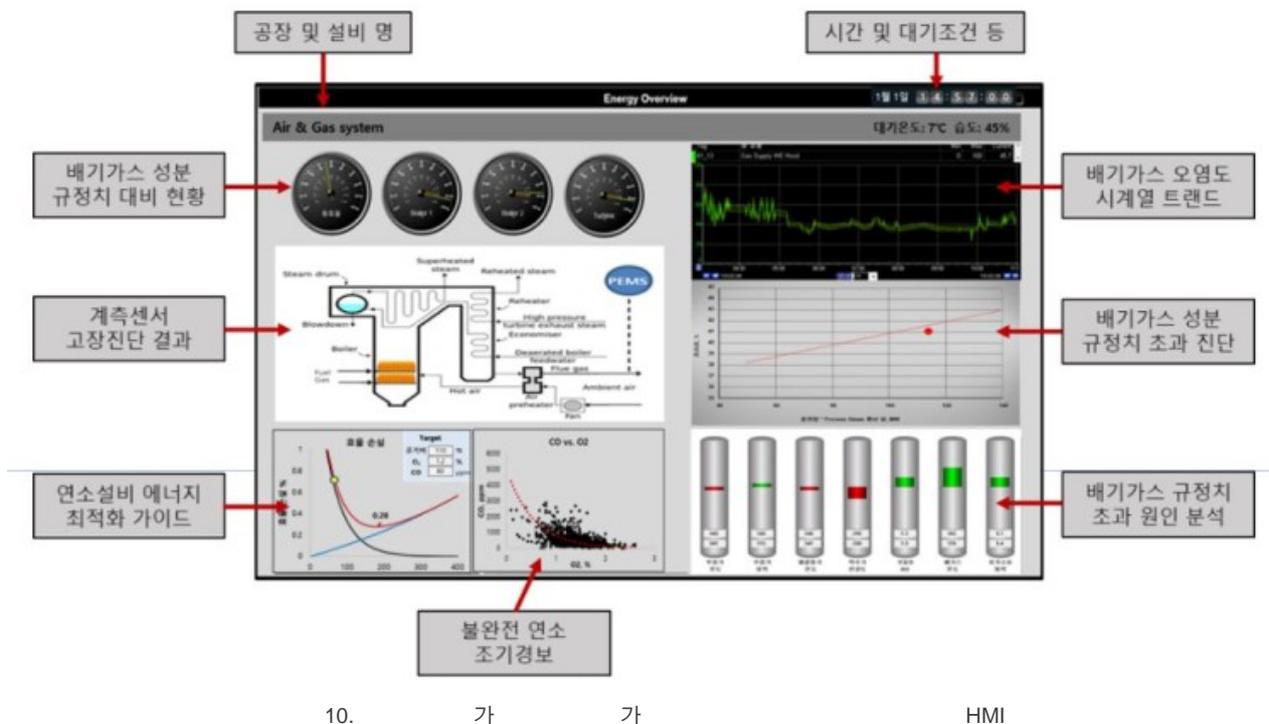
한 형태의 상관식을 적용한다. <그림 9>와 같이 현재 값이 Reference Model 대비 비율(a/b)이 일정하다고 가정하여 공정 모델을 구성하고, 황축의 가상센서 SV에 $a'/b'=a/b$ 의 관계로 대응하는 MV를 종축에서 찾아 조작변수의 제어점을 도출한다.



9.

(6) 결과 출력

가상센서 결과는 csv, my SQL, MS SQL을 이용하여 PID 제어기 또는 MPC(Multivariable Predictive Controller) 등의 자동제어시스템에 전달한다. 최적화 결과를 자동 제어 시스템에 전달하지 않고 운전원이 수동으로 조작한다면 HMI를 통해 결과를 전달한다. HMI는 운전원의 편의성을 위하여 가급적 화면 수를 줄이되 가상센서 대쉬보드와 조업 가이드는 포함한다. 프로그래밍은 범용 PC의 MS 윈도우 또는 리눅스 환경에서 파이썬(Python)을 이용한다. HMI는 대상 공정이나 가상센서의 특성에 따라 다른 모양의 구성을 가질 수 있다. 참고로 보일러 배기가스에 대한 함량 분석 가상센서와 이를 이용한 연소효율 제어 시스템의 HMI는 <그림 10>을 통해 확인할 수 있다.



10.

가 가

HMI

<참고 자료>

(1) Luigi Fortuna, et al, Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes, Springer, p22~26, 2010

(2) Virtual Sensors Market by Component (Solutions and Services), Deployment Mode (Cloud and On-Premises), End User (Process Industry - Manufacturing and Utilities, Automotive and Transportation, and Oil and Gas), and Region - Global Forecast to 2023, MarketsandMarkets, April 2019

(3) Technical Review of On-Line Monitoring Techniques for Performance Assessment, Volume 1: State-of-the-Art, University of Tennessee, 2006

(주)테크다스 www.techdas.co.kr

대표이사 고흥철

010-3409-5551 / kohc@techdas.co.kr

서울특별시 금천구 디지털1로 171, 410호 (가산동, 가산 SK V1센터) (우편번호: 08503)

Tel. 82 (02) 865-1313 / Fax.82 (02) 865-1311
