

공정 데이터 속의 패턴과 운전자 경험적 지식의 디지털 트랜스포메이션 플랜트 성능감시 및 고장예측 조기경보 시스템

고 홍 철 (kohc@techdas.co.kr) / (주)테크다스

플랜트 조기경보 시스템은 공정 데이터에 포함된 패턴과 숙련된 운전자의 경험적 지식을 디지털 전환 기술로 시스템화 하여 플랜트 성능을 감시하고 고장을 예측함으로써 무사고 운전과 생산성 향상을 지원한다.

AI 및 디지털 기술의 발전과 함께 전통적으로 전문가의 영역이었던 사고 감시 및 예방 업무가 조기경보라는 이름으로 시스템화(Early Warning System, EWS)하여 다양하게 사용되고 있다. EWS란 특정 대상의 동향을 지속적으로 감시하다가 이상 징후가 포착되면 바로 경보를 발행함으로써 사람의 생명이나 재산을 보호해주는 시스템을 말한다. 홍수나 가뭄, 해일과 같은 자연재해에서부터 식중독이나 교통 체증과 같은 사회적 이슈, 적군 동향이나 탄도미사일 감지와 같은 군사 목적까지 우리 주변의 거의 모든 분야에서 사용되고 있다.

플랜트 조업에서 EWS는 플랜트가 비정상적으로 작동할 때 이상 징후를 조기에 감지하여 사고나 성능 저하 발생을 방지하도록 경보를 발행한다. 한 통계에 의하면 사고의 90%는 단순한 기계적 손상이나 사람의 실수에 의한 것이라고 한다. 사소한 결함이 공정 이상을 야기하고 비정상적인 상태가 계속되다 보면 설비 고장이나 사고로 발전한다. 대부분이 발생 초기에 발견한다면 고장이나 사고를 방지할 수 있기 때문에 EWS의 효과를 기대한다.

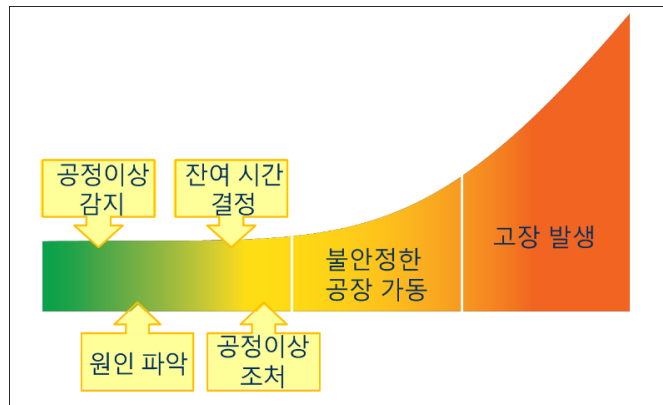


그림 1. 고장 발생 과정 및 조기경보 시스템 기능[1]

플랜트에서 고장이란 공정, 설비, 부품, 제품, 제어 시스템을 막론하고 이들이 일반적인 조건에서 주어진 기능을 수행하지 못하는 상태를 말한다. 고장의 원인은 크게 과응력(over-stress)과 마모로 분류한다. 과응력은 대상이 가진 강도에 비해 큰 응력이 작용하여 생기는 우발적인 변화인 반면, 마모는 시간에 따른 열화나 경화, 부식 등으로 사용기간에 따라 서서히 발생하는 변화이다[2] 물리적인 변화 외에 밸브 조작 실수나 설정치(Set Point) 오류와 같은 운전자 실수, 충전물이나 화학약품의 변성, 원료나 유틸리티의 오염 등도 비정상 운전의 원인이 될 수 있으므로 EWS에 포함한다.

EWS 기대 효과

EWS는 공정이상 감지 및 진단 업무를 자동화하여 고장 없이 최고의 성능을 발휘하도록 지원하며, 설비의 수명을 정확하게 예측하여 최적의 정비 계획 수립을 가능하게 한다.[1] EWS를 통해 설비 신뢰성을 확보하고, 플랜트 성능 유지의 효과를 기대한다.

설비 관리	성능 관리
<ul style="list-style-type: none"> · 사고 예방 · 비계획 가동 정지 감소 · 정비 비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> · 에너지 절감 · 품질 개선 · 처리량 유지

대상 플랜트

과거에는 정밀 감시가 필요한 회전기계 위주로 적용되었으나, 최근에는 고정장치에까지 확대되고 있다. 정유공장의 경우, 반응기의 효율이 단 0.1%만 저하되더라도 연간 수십억 원에서 수백억 원의 손실이 발생한다. 정유공장은 많은 양의 원료를 처리하기 때문에 약간의 효율 저하에도 매우 큰 손실이 발생한다. EWS 적용 효과가 큰 플랜트는 다음과 같다.

- 발전소 및 에너지
- 정유 및 석유화학
- 화학 및 제약
- 항공 및 우주
- 제철소
- 시멘트 및 비료
- 제지
- 유틸리티 시설

EWS 실행 절차

EWS는 일반적인 온라인 모니터링 시스템의 실행 절차를 따른다. 실시간 데이터 저장 장치(Data Historian)로부터 운전 데이터를 수집하여, 데이터 전처리와 알고리즘을 실행하고, 대처 방안 수립에 필요한 정보를 출력하는 순서로 진행된다. EWS 알고리즘은 이상감지(Fault Detection), 원인을 파악하는 이상진단(Fault Diagnosis), 수리나 교체 시점까지 잔여수명 예측(Prognostics)으로 구성된다.

본 고에서는 미국의 Expert Microsystems 사의 SureSense를 이용하여 EWS 절차를 설명하고자 한다. SureSense는 우주 왕복선의 고장진단 목적으로 '96년에 NASA에서 개발한 소프트웨어이다. 데이터 속에 포함되어 있는 패턴을 학습하여 이상 징후를 감지하는 최선의 패턴 인식(Advanced Pattern Recognition) 솔루션이다.[3]

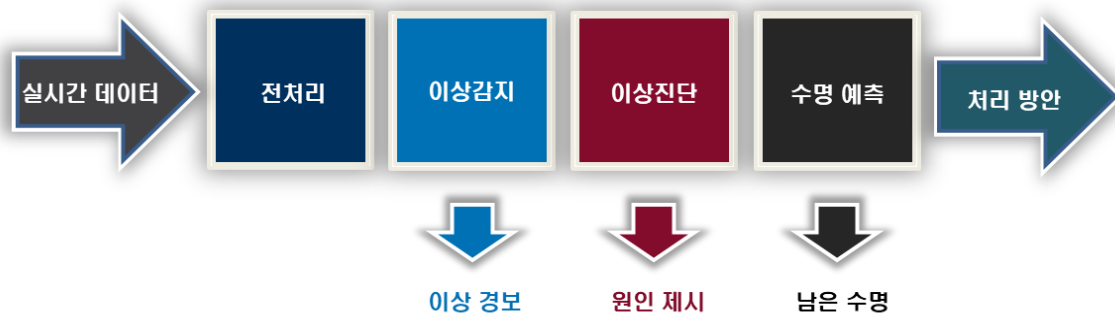


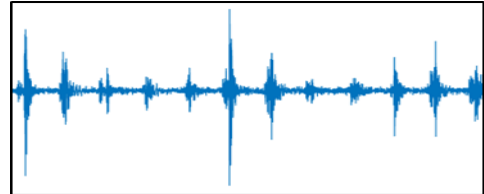
그림 2. EWS 실행 절차

(1) 이상감지

조기에 공정이상 징후를 감지하기 위해서 센서 기반 기법과 모델 기반 기법을 적용하는데, 모델 기반 기법은 다시 파라미터 분석 기법과 잔차 분석 기법으로 구분된다.

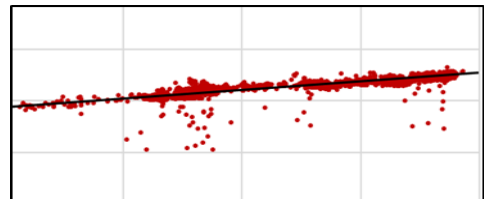
· **센서 기반 기법(Sensor Based Technique)**

센서 측정 값이 경계치보다 크거나, 변화 패턴이 정상과 다를 때 공정이상으로 판단
(회전기계 진동, 센서 고착이나 피크, 불꽃 상태 등)



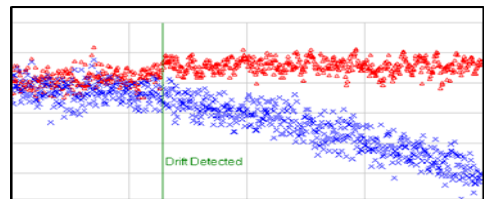
· **파라미터 분석(Parameter Analysis)**

정상적인 상태의 데이터로 계산한 파라미터와 실제 데이터로 계산한 파라미터가 차이가 크면 공정이상으로 판단
(펌프 헤드, 공정 효율, 열교환기 파울링, 반응 속도 등)



· **잔차 분석(Residual Analysis)**

정상적인 상태의 데이터로 만든 패턴인식 모델로 예측한 값과 실제 센서로 측정한 값의 차이가 크면 공정이상 판단
(패턴인식 모델에 포함되는 고장으로 센서, 설비, 공정 등)



플랜트 운전 컴퓨터인 DCS(Distributed Control System)는 운전 변수가 High/Low 경계를 벗어날 때 경보를 발행한다. 일반적으로 정상을 비정상으로 판단하는 오류를 줄이기 위하여 경보 경계 범위를 넓게 설정한다. 경보 경계 범위를 좁게 설정하면 아래 그림에서 Δt 만큼 조기에 공정 이상을 감지할 수 있다.

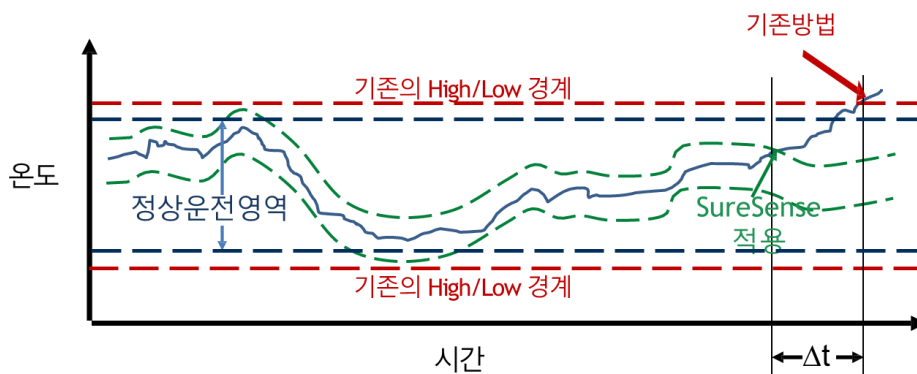


그림 3. DCS 경보 체계 대비 패턴인식 기법을 적용한 공정이상 조기감지[1]

(2) 이상진단

과거에는 공정 이상이 발생하면 담당 엔지니어들이 데이터를 검토하여 문제의 원인을 찾았다. EWS는 이와 같은 과정을 자동으로 수행한다. 실시간 데이터로부터 생성한 현재의 패턴과 사전에 학습을 통해 구축해 놓은 비정상 패턴을 비교하여 공정 이상의 원인을 찾는다. SureSense는 전문가 시스템(Expert System)과 베이시안 네트워크(Bayesian Network)를 적용한다. 전문가 시스템은 실시간 패턴과 공정 이상 패턴을 1:1 매치하여 하나의 원인을 제시하지만, 베이시안 네트워크는 변수 간의 인과관계를 확률적으로 분석하여 다수의 가능한 원인들을 찾아 제공한다.

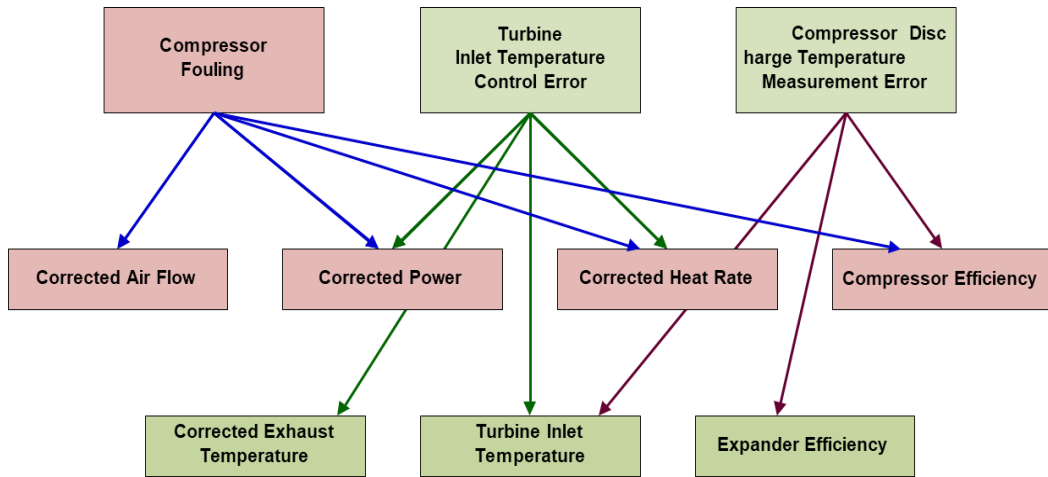


그림 4. 고장의 원인들을 확률과 함께 제시하는 베이지안 네트워크 사례[1]

(3) 수명 예측

마모, 부식, 경화 등이 점점 진행되어 플랜트를 정상적으로 운전하기 어려운 한계에 이르기까지 잔여 시간을 예측한다. 특히 최근에 관심이 모아지고 있는 상태 기반 보수(Condition Based Maintenance) 프로그램은 운전 가능한 설비를 최대한 활용하기 위하여 보수 시점을 가능한 늦춰야 하므로, 잔여수명 예측은 필수 기능이다.

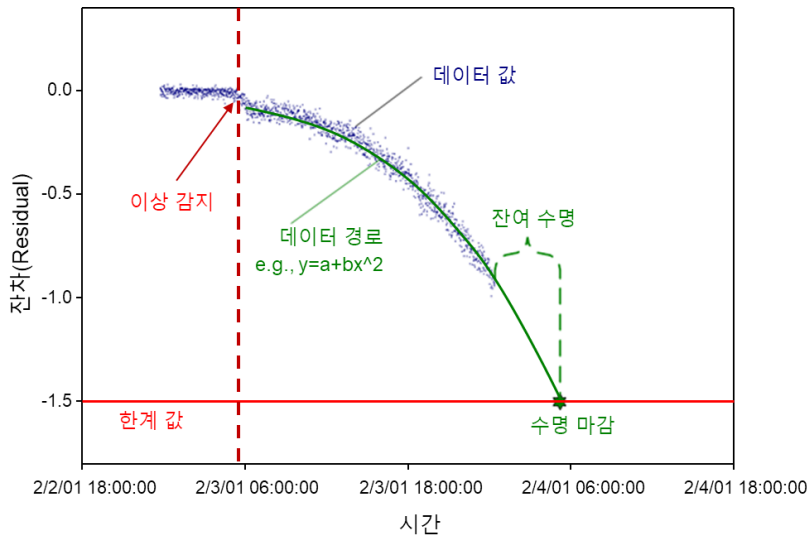


그림 5. 설비 열화의 경향성 모델을 이용한 잔여 수명 예측[1]

플랜트 EWS 사례

플랜트 구성 설비, 연료 및 원료, 계측 센서, 제어 시스템, 사람 등 고장이나 성능저하를 유발하는 어느 것이든지 EWS 대상이 될 수 있다.

(1) 가스 압축기

3 단으로 구성된 압축기 사례이다. 본 압축기는 베어링 진동, 토출 압력, 토출 유량, 오일 온도, 전기 사용량을 측정하며, 이를 이용하여 측정 센서 고장, 베어링 손상, 임펠러 손상을 진단한다. 설비의 성능을 감시하기 위하여 별도로 이론식을 이용하여 압축 효율을 함께 모니터링한다. 간단한 사례이지만 SureSense 를 이용하여 EWS 를 구성하면 다음 그림과 같다. 그림에서 붉은 색은 이상 발생을 의미하며, 현재 압축기 2 단에서 베어링 진동과 효율에서

이상이 있음을 경보하고 있다.

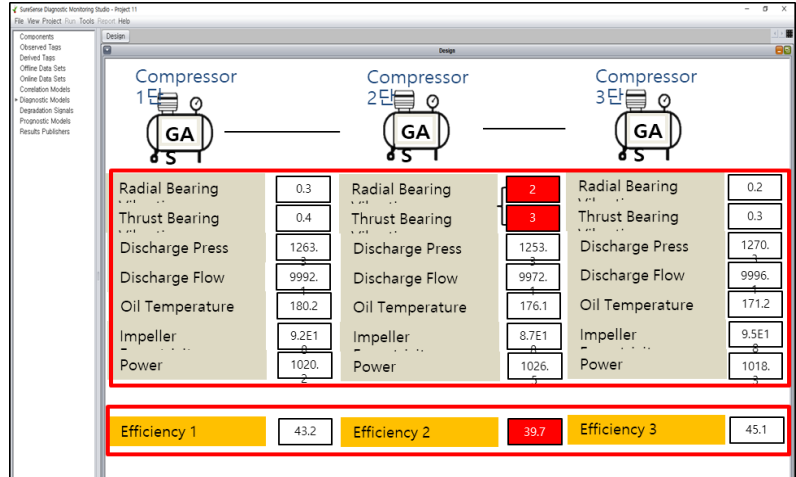


그림 6. SureSense 를 이용한 3 단 압축기 EWS 구성 화면

압축기 운전에서 가장 중요한 서지(Surge) 위험성을 앞에서 이상감지 기법의 하나로 설명한 파라미터 분석 기법을 적용하여 모니터링할 수 있다. 서지는 가스 공급이 원활하지 않거나 가스 밀도가 낮아 임펠러가 헛도는 상태를 말하는데, 서지가 발생하면 설비가 손상되기 때문에 자동으로 정지(Trip)된다. 압축기 제작사에서 제공한 성능지도 (Map)를 이용하여 서지선을 설정하지만, 운전 데이터를 통해서도 가능하다. 정상 운전에서의 토출 유량 대비 압축비의 산포도를 작성하고, 좌상의 경계선을 서지선으로 설정한다. 실시간 감시를 통해 운전 상태가 서지선에 근접하면 트립을 방지하도록 경보를 발행한다.

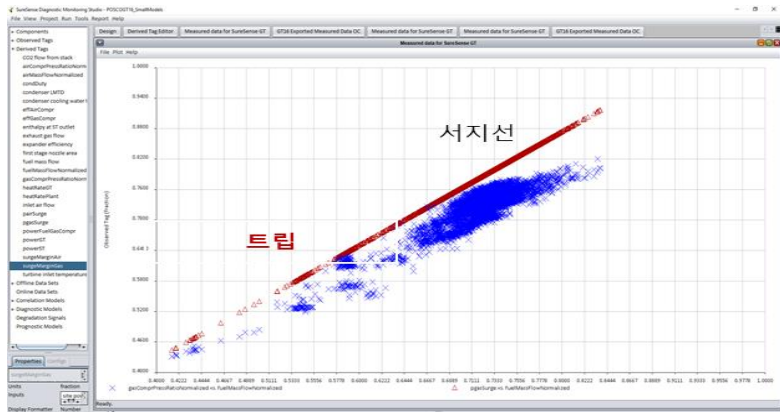


그림 7. 운전 데이터를 이용한 서지선 설정

(2) 탈황공정

정유공장에서 생산하는 모든 유류 제품은 환경 오염물질인 황을 제거하는 탈황공정을 거친다. 유류 원료에 수 %로 포함된 황은 촉매 반응기에서 수소와 반응하여 황화수소로 전환되어 10ppm 미만으로 제거된다. 탈황공정은 고압고온 상태에서 인화성이 높은 수소를 다루고, 극소량만 흡입해도 인체에 치명적인 손상을 미치는 황화수소가 존재하므로 사소한 고장도 허용되지 않는다.

탈황공정은 가동시간이 증가하면서 원료에 포함된 오염물질에 의해 촉매의 활성도가 낮아진다. 촉매 활성도가 낮아지면 생산량을 줄일 수밖에 없어 수급에 차질을 빚는다. 정기적으로 촉매의 잔여 수명을 관리하여 만일의 상황

을 대비하여야 한다. 경유 탈황공정의 EWS 항목 중 중요한 것만 표현하면 다음 그림과 같다.

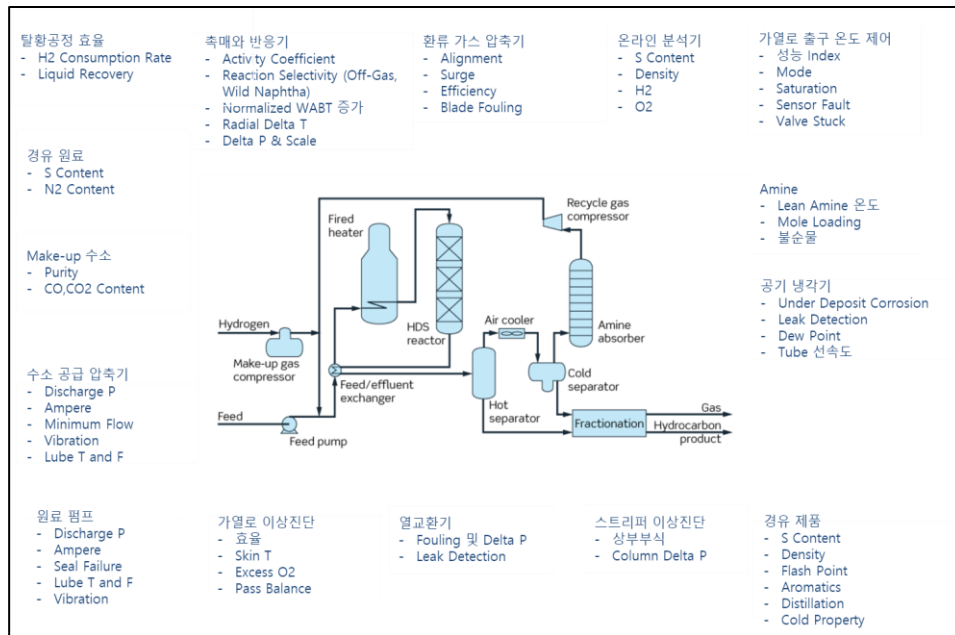


그림 8. 탈황공정 EWS 구성 항목 예시

맺음 말

기업은 치열한 경쟁 환경 속에서 환경 사고, 인사 사고, 설비 손상, 어느 것 하나도 발생해서는 안된다. 돌발 상황이 발생하지 않는 기본적인 전제 조건 하에서 제품 품질을 높이고, 생산 원단위를 줄이고, 생산량을 유지해야 한다. 하지만 플랜트 현장은 에너지 절감을 위해 공정 간 통합으로 더욱 복잡해지고 있고, 숙련된 운전자의 퇴직으로 생산현장에서 기술력의 공백은 가속되고 있으며, IoT로 가용하게 된 수많은 데이터는 아이러니하게도 플랜트 제어실 운전자의 감시 부하를 가중하고 있다.

이러한 환경을 대처할 수 있는 방안으로서 공정 데이터 속에 포함된 패턴을 찾고 숙련된 운전자의 경험적 지식을 디지털 전환 기술로 재구성하여 성능감시와 고장예측 업무를 지능화함으로써 운전자와 기술 및 정비 엔지니어를 지원하는 조기경보 시스템이 필요하다.

참고 자료

[1] SureSense Virtual SME, Premier Advanced Pattern Recognition System, Expert MicroSystems.
 [2] 이진우, 전휘수, 권대일, 국내외 고장진단분야 연구 동향 및 분석, Vol. 56, No. 11, 기계저널, 2016
 [3] Technical Review of On-Line Monitoring Techniques for Performance Assessment, Volume 1: State-of-the-Art, University of Tennessee, 2006

고흥철

kohc@techdas.co.kr

(주)테크다스 www.techdas.co.kr

서울특별시 금천구 디지털 1로 171, 410 호 (가산동, 가산 SK V1 센터) (우편번호: 08503)

Tel. 82 (0)2 865 1313 Fax. 82 (0)2 865 1311