

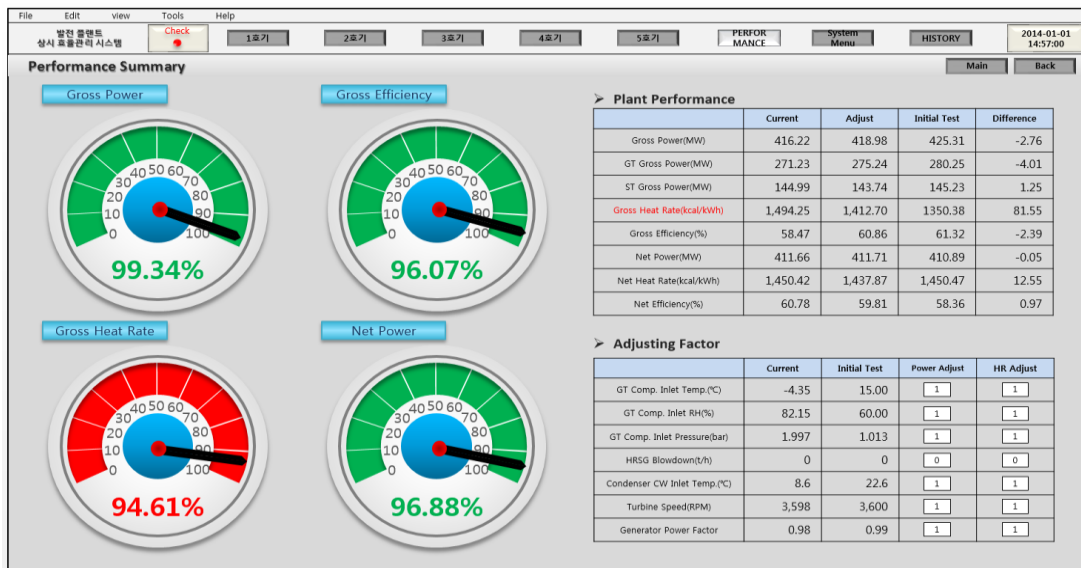
수익성 지향적 플랜트 성능 관리시스템

- 발전 플랜트 사례 중심으로 -

(주)테크다스 대표이사 고흥철

1. 체감 가능한 목표 수립

플랜트는 시간이 지나면서 설비 노후화, 설비 개/보수, 배기 제약 변동 등이 발생하여 인수성능 시험 초기의 최적화된 성능을 유지하는 것이 불가능하다. 또한 연료 변경, 원료 및 유틸리티 원가 변동, 제품 규격과 가격 변동으로 인하여 플랜트 준공 시 설정된 성능 목표를 그대로 추구하는 것은 적절하지 못하다. 플랜트의 라이프 사이클 동안 발생하는 변화를 반영해서 그때 그때 상황에 맞게 실현 가능한 목표를 수립하는 것이 필요하다. 즉, 초기 플랜트의 최적화된 성능을 현재의 설비 상태와 환경 조건으로 보정하고, 그 차이를 줄이도록 목표를 설정하여야 한다. [그림 1]은 발전 플랜트 성능 관리시스템의 주(Main) 화면으로, 왼쪽 대쉬보드는 플랜트 전체의 생산량과 효율을, 오른쪽 표는 현재의 상태, 인수성능 시의 조건, 환경 변화를 보정한 실현 가능한 목표, 목표와 현재 조건과의 차이를 나타낸 것이다.

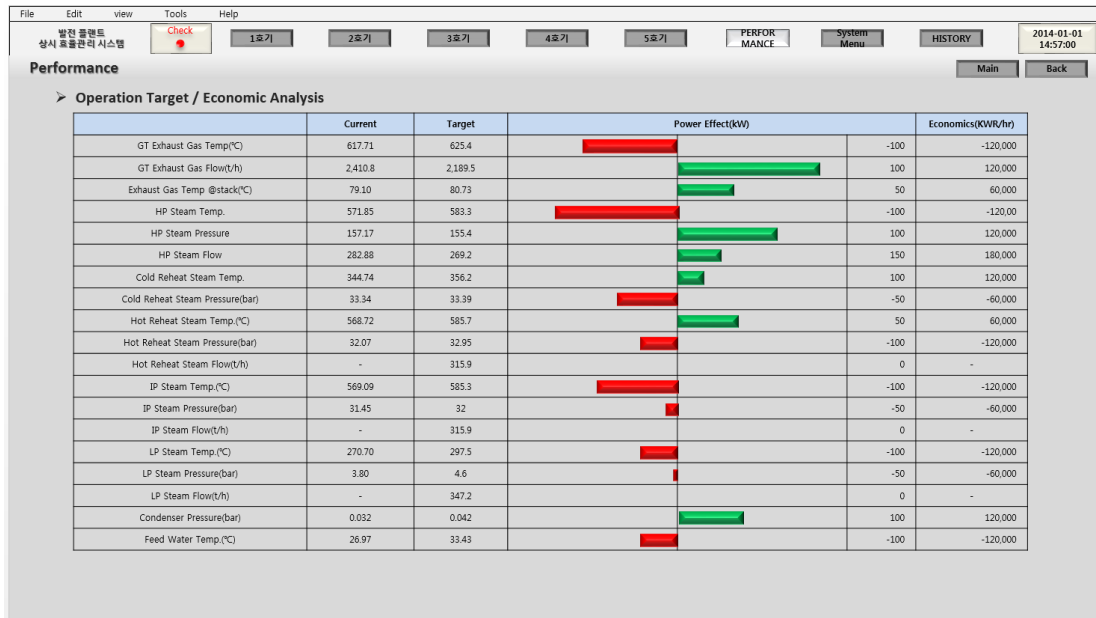


[그림 1] 실현 가능한 목표 설정; 인수성능 기준 현재의 운전 상태 비교

성능 관리시스템은 플랜트 운전자, 기술 엔지니어, 정비 엔지니어, 생산 관리자 등에게 해당 업무에 관련된 정보를 제공한다. 플랜트의 성능을 저하시키는 변화가 발생하면 해당 업무 담당자가 신속 정확한 의사 결정을 하도록 필요한 정보를 제공한다. 이때 단순히 성능의 높낮이만 제공하는 것으로는 부족하다. 발생한 변화에 대처해서 곧바로 행동으로 옮길 수 있도록 성능의 저하 원인과 처방을 가능한 구체적으로 제시할 수 있도록 하여야 한다.

성능 관리시스템은 플랜트를 최적으로 가동하여 생산의 경제성을 높이도록 지원하는데 목적이 있다. 단순히 효율이라는 간접 지표를 제시하기보다는 현재의 성능 상태가 플랜트의 경제성에

미치는 영향을 직접적으로 제시했을 때 더욱 효과적이다. 예를 들어서 열교환기의 파울링으로 인한 스팀 증가나 공기압축기의 부분 부하로 인한 전기 사용량 증가를 비용으로 알려주는 것이 필요하다. [그림 2]는 발전 플랜트에 설치한 성능 관리시스템의 한 화면으로 빨간색 막대와 파란색 막대는 각각 비용 증가와 비용 절감의 크기이고, 표의 맨 오른 편 열은 손익수치이다.



[그림 2] 플랜트 운전 변수의 경제성 기여도

2. 방법론 제안

환경 변화를 반영한 목표 설정, 행동 지향적 형태의 정보 출력, 플랜트 조건에 따른 경제성 변화 등을 제공하기 위해서는 플랜트를 다양하게 'What-If' Study할 수 있는 도구가 필요하다. 필요한 정보를 구하기 위하여 플랜트를 실제 조작해볼 수는 없기 없기 때문에 시뮬레이션을 활용하게 된다. 대부분의 플랜트 성능 관리시스템이 다양한 형태의 시뮬레이션 모델을 적용하고 있지만, 그것들의 정밀도와 형태, 기법 등에 따라 '실현 가능하고 가시적인 목표 수립'의 수준이 결정된다. 이론에 기반한 정밀한 모델 (Rigorous Model)이 가장 효과적일 것이다. 하지만 플랜트의 모든 설비에 정밀한 모델을 구축하는 것은 지나친 인적·물적 투자이다. 대안으로 단순한 모델 (Shortcut Model)이나 경험적 모델(Heuristic Model)을 사용하지만 정확성은 차치하더라도 압·출력 변수의 제한, 빈번한 프로그램 수정 등과 같은 문제점이 있다. 예를 들어 간혹 외부 컨설팅 업체의 독자적인 모델을 단위 모듈 별로 구축하여 사용하는 경우가 있다. 이는 공급자 의존성을 불가피하게 하여 시스템 유지 비용을 크게 발생시킨다.

이러한 문제로 인해 대부분의 성능 관리시스템은 단순한 입력 대비 출력의 비율로 설비의 성능을 간주하여 관리한다. 예를 들어 열교환기의 파울링 인자 (Fouling Factor) 대신에 단순히 전열량이나 열전달 계수를 모니터링한다. 공기 압축기의 폴리트로픽 효율 (Polytropic Efficiency) 대신에 전력 사용량 대비 토출 압력을 모니터링한다. 이러한 단순한 방식은 최고의 성능을 추구하는 플랜트 엔지니어나 관리자의 눈높이에서는 미흡할 수밖에 없다.

그래서 필자는 대안을 제안하고자 한다. 바로 상용화된 시뮬레이터와 통계적 모델을 사용하는 방법이다. 상용화된 시뮬레이터는 대개 Trouble-shooting이나 공정 설계에 오프라인 방식으로 사용되어 왔으나, 대신에 정확성, 사용자 편의성, 모델 구축의 용이성의 장점이 있다. 상용화된 시뮬레이터를 통해 'What-If' Study가 가능하고, 플랜트 조건의 변화에 대한 결과의 분석이 쉽다. 여기에 최적화 기법을 적용하면 손쉽게 운전 최적화도 가능하다. 이러한 장점을 최대한 살려 상용화된 시뮬레이터를 성능 관리시스템에 장착하기 위해서는, 다시 말해서 오프라인을 온라인 방식으로 사용하기 위해서는 시스템을 연결하는 인터페이스가 필요한데 다행스럽게도 요즘 출시되는 대부분의 시뮬레이터는 OLE 인터페이스 기능이 제공된다.

상용화된 시뮬레이터를 플랜트에 적용하는데 가장 문제가 되는 것은 제품 품질이나, 배기 가스의 성분을 예측하는 경우이다. 99.9% 또는 10ppm 과같이 고순도 또는 저농도의 상태를 예측하는데 물리적 이론은 한계를 보인다. 사실 이러한 이유로 상용화된 시뮬레이터가 제대로 인정받지 못하는 것 같다. 고순도 또는 저농도의 품질은 제품의 규격과 관련된 만큼 정확성이 무엇보다도 강조된다. 따라서 정밀한 온라인 분석기나 실험 장비를 이용해 분석된다. 본 고에서는 플랜트 운전 데이터와 실험실 또는 온라인 분석기의 결과를 통계적으로 처리하여 수식 형태의 모델을 만들어서 이를 시뮬레이터의 보조적 수단으로 사용할 것을 제안한다.

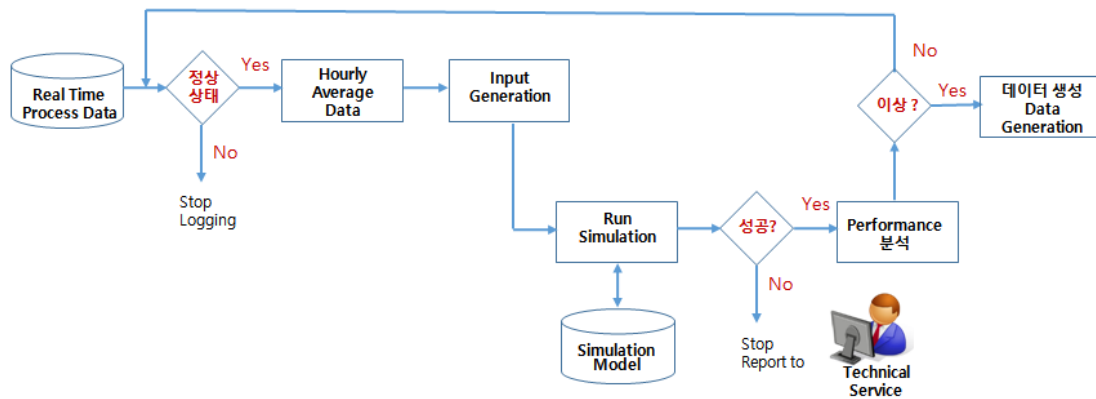
예를 들어 보자. [그림 3]은 배기가스의 과잉 O₂의 통계적 모델 결과이다. PCA(Principal Component Analysis) 기법을 이용하여 영향력이 큰 주성분 인자를 결정하고, PLS(Partial Least Square) 기법을 적용하여 추론 모델을 도출했다. 통계적 모델의 예측 결과와 실제 온라인 측정기의 결과가 R square 99.3%로 매우 정확했다. 연료계통의 운전 데이터와 가스터빈의 운전 데이터를 이용하여 예측한 모델로 실제 온라인 분석기보다 20분 먼저 결과를 예측했다. 또한 신뢰할 만한 정확성으로 수시로 발생하는 분석 계기의 고장 시에도 운전에 적용할 수 있다. 이러한 통계적 모델은 물리적 모델이 한계를 보이는 경우에 효과적으로 사용할 수 있다.



[그림 3] 스택 배기 가스의 과잉 O₂의 통계적 모델

3. 문제점의 해결

[그림 4]는 모델들을 이용하여 설비 성능을 계산하는 과정을 도식적으로 표현한 것이다. 모델 계산에 필요한 플랜트 운전 데이터들을 RTBD로부터 실시간으로 수신 받아 시뮬레이터를 동작시키고, 그로부터 계산된 성능을 각 계층의 사용자에게 제공한다. 이러한 흐름을 자동으로 실행하기 위해서는, 다시 말해서 시뮬레이터를 온라인 실시간으로 활용하기 위해서는 몇 가지 기술적 조치가 필요하다.



[그림 4] 실시간 온라인 시뮬레이션 흐름도

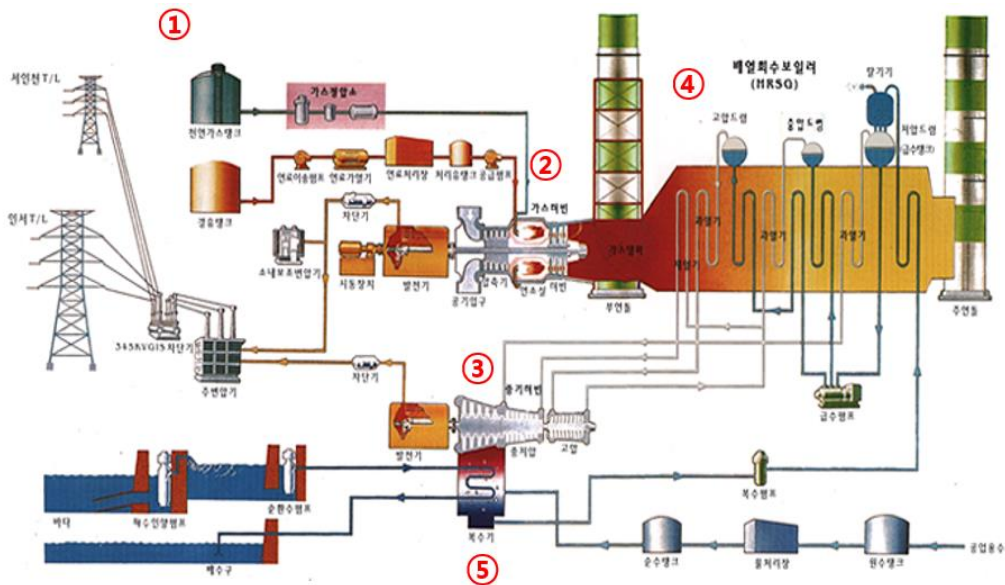
첫째, 원료나 연료의 성분과 측정값의 정확성을 높이는 기술적 장치가 필요하다. 오프라인 시뮬레이션의 경우 엔지니어가 정확성을 판단하고 인위적으로 편차를 반영하여 원료나 연료의 성분과 측정값을 보정할 수 있지만, 사람의 개입이 없는 자동화된 시뮬레이션은 별도의 기술적 장치가 필요하다. 바로 시뮬레이션 모델을 통한 원료 성분 보정(Feed Characterization)과 측정값 보정(Data Reconciliation)이다. 원료 성분과 측정값 보정은 모든 문제에 적용할 수 있도록 정형화하기 어렵고 사용자의 목적에 따라 적절하게 구성되어야 한다.

둘째, 경제성을 적용한 최적화와 특정 운전 조건을 결정하는 수치해석 엔진을 구성하여야 한다. 많은 상용화된 시뮬레이터가 자체적으로 최적화 기법과 방정식의 해를 구하는 기능을 갖추고 있지만 실시간 시뮬레이션을 수행하기 위해 필요한 만큼의 기능에는 한계를 보이기도 한다. SQP (Successive Quadratic Programming)와 같은 비선형최적화 엔진과 NRM (Newton-Raphson Method)과 같은 비선형대수방정식의 해를 구하는 엔진을 장착하는 것이 필요하다.

셋째, 시뮬레이션과 실제 플랜트의 차이를 극복해야 한다. 실시간 모델링 기법을 적용하여 시뮬레이션 모델을 플랜트와 가능한 유사하게 유지해야 한다. 그렇다고 하더라도 이론과 현실은 항상 같을 수는 없다. 시뮬레이션 결과가 실제 플랜트의 데이터의 차이를 Bias-Update 기법으로 일종의 트릭을 써서 처리해주어야 한다. 시뮬레이션 결과 수치와 플랜트 운전 수치가 일치할 때 성능 관리시스템의 신뢰를 확보할 수 있다.

4. 사례 _ 발전 플랜트

발전 플랜트의 오프라인 시뮬레이터로 PEPSE와 Thermoflex가 많이 사용되는데 전세계적으로 약 90%의 시장 점유율을 차지하고 있다. 이 시뮬레이터를 이용하여 상업 발전 플랜트를 실시간 시뮬레이션하고 플랜트 관리에 필요한 파라미터 또는 정보를 도출하였다. ① 연료계통: 연료 성분 보정, 발열량, 불완전 연소 정도, ② 가스터빈: 발전량, Heat Rate, 발전 성능, 과잉 공기 유입, 운전부하, ③ 증기터빈: 발전량, Heat Rate, 발전 성능, 증기 물성, ④ 열회수: 급수 조건, 열교환량 및 열전달 계수, 배기가스 온도, ⑤ 복수기: 압력, 냉각수 온도, 유량, 액위. 컴퓨터 모니터 상에 실제 플랜트의 운전과 동일한 거울 모델(Mirror Model)을 구축함으로써 사용자의 신뢰를 확보하도록 하였다.



[그림 5] 발전플랜트 개략도

5. 제언

본 고에서는 환경 변화를 반영한 목표 설정, 행동 지향적 형태의 정보 출력, 플랜트 조건에 따른 경제성 변화 등을 도출하여 '실현 가능하고 가시적인 목표 수립'이라는 주제를 가지고 플랜트 성능 관리시스템을 어떻게 구축할 것인가 살펴보았다. 방법론적으로는 상용화된 시뮬레이터를 이용한 실시간 시뮬레이션과 보조 수단으로 통계적 모델의 사용을 제안하였고, 오프라인 용도의 시뮬레이터를 온라인 용도로 사용하기 위한 기술적 장치를 설명하였다. 발전 플랜트 사례를 중심으로 다루었지만, 정유, 석유화학, 화학, 시멘트, 제지, 반도체, 디스플레이 등 플랜트를 포함한 모든 산업에 적용 가능하다. 치열한 대외적 경쟁 환경에서 살아남기 위해서 얼마나 경제적으로 플랜트를 운전하는가가 무엇보다도 중요하다. 한번 지나간 기회나 손실은 되돌릴 수 없다. 본 제안이 성능 관리시스템을 통해 플랜트의 수익성을 개선하고자 하는 기업에 조금이나마 도움이 되기를 기대한다.