



# 시뮬레이션 기반의 디지털 트윈

## - 플랜트 실시간 운전 최적화 -

### 1. 서론

디지털 트윈(Digital Twin)은 글로벌 기업 GE가 주창한 개념으로, 물리적 세계(현실)의 기계나 장비, 사물 등을 가상세계에 동일하게 구현하여 사물의 상태, 생산성, 동작 등을 미리 검증하는 기술이다. 디지털 트윈은 2000년대 들어 제조업에 도입되기 시작해서 4차 산업혁명 시대의 핵심기술로 적용되고 있으며, 플랜트, 항공, 자동차, 건설, 의료, 에너지, 국방, 도시설계 등 다양한 분야로 적용 범위가 확대되고 있다.

디지털 트윈 기술을 플랜트 조업에 활용하면 IoT를 통해 가상세계에서 장비, 시스템 등의 상태를 모니터링하고 유지·보수 시점을 파악할 수 있다. 가동 중 발생할 수 있는 다양한 상황을 예측해서 안전을 검증하거나 돌발 사고를 예방해 사고 위험을 줄일 수도 있다. 또한 생산성 향상과 조업 최적화를 실시할 수 있고 시제품 제작에 들어가는 비용과 시간을 대폭 절감할 수 있다.



그림 1. 디지털 트윈을 이용한 실시간 최적화

이러한 측면에서 디지털 트윈의 유망한 분야 중의 하나가 정유공장, 화학공장, 발전소, 제철소 등의 장치산업에 적용되고 있는 실시간 운전 최적화(RTO, Real-time Optimization) 기술이다. 제품의 세부 특징과 공정 전반의 데이터를 수집하고 분석하여 실제 제품 생산과정을 그대로 시뮬레이션하여 최적화를 실시한다.

## 2. PTOp-Vplant™ 소개

PTOP-Vplant™는 정밀한 시뮬레이션을 통해 RTO를 구축하는 시뮬레이션 기반의 RTO 프레임워크이다. 시뮬레이션과 최적화 엔진의 조합으로 DWSIM과 파이썬을 사용한다. DWSIM과 파이썬은 공개된 소프트웨어로 무료이다. DWSIM은 시장 점유율이 가장 큰 Aspen HYSYS과의 차이가 1% 이내로 정확성이 검증되었다.<sup>1</sup>

PTOP-Vplant™는 실제 플랜트와 디지털 트윈 모델을 동기화시키고, 동기화된 모델을 이용하여 시뮬레이션을 실시하여 품질 향상이나, 생산량 증대 또는 에너지 절감을 달성하는 최적의 운전조건을 찾아 플랜트 운전 에 반영한다. 디지털 트윈 기반의 RTO는 아래와 같이 4 단계로 진행된다.

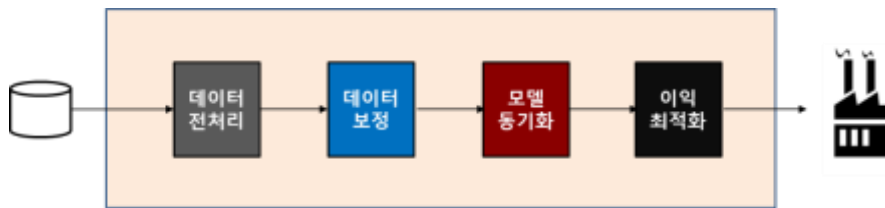


그림 2. PTOp-Vplant™ 실행 절차

플랜트로부터 수집한 원시 데이터는 센서 고장이나 신호 노이즈 등에 의한 오차를 포함하고 있다. 먼저 필터링 기법을 적용하여 오차를 소거한다. RTO에서는 물질 수지와 열 수지가 기본적으로 만족되어야 하는데, 이를 위해서 데이터 보정을 실시한다. 데이터 보정은 측정 오차의 통계적 특성과 센서 중복성을 이용하여 데이터를 보정하는 기술로 정유공장이나 석유화학공장, 발전소, 유틸리티 플랜트 등에서는 오래 전부터 적용되던 기술이다.<sup>2</sup>

노이즈와 측정 오차가 제거되고, 물질 수지와 열 수지가 성립되면, 역공학(Reverse Engineering)을 실시하여 디지털 트윈을 실제 플랜트와 동기화시킨다. 생산 제품의 품질이나 연료 사용량을 정확히 예측하도록 디지털 트윈의 모델 파라미터를 튜닝한다.

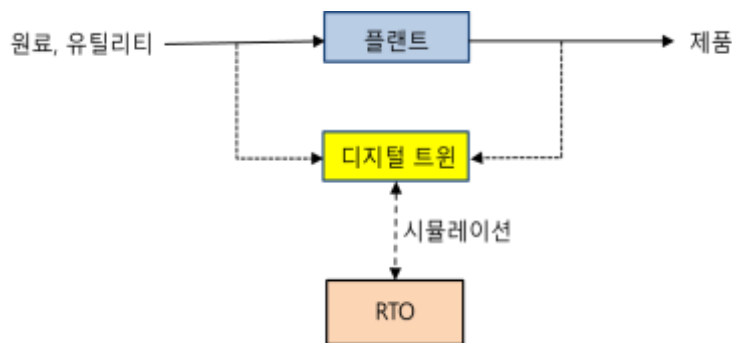


그림 3. 디지털 트윈을 이용한 RTO 어플리케이션

디지털 트윈으로 시뮬레이션을 실시하여 이익을 최대화 하는 운전조건을 찾는다. 최적화의 목적함수는 플랜트의 생산 이익이며, 이를 수학적으로 표현하면 다음 식과 같다.

<sup>1</sup> A. Andreassen, "Evaluation of an open-source chemical process simulator using a plant-wide oil and gas separation plant flowsheet model as basis," Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 2022.

<sup>2</sup> VDI-2048, Germany Standardization Organization

$$\Phi = \text{제품 양} \times \text{제품 가격} - (\text{원료 양} \times \text{원료 가격} + \text{유틸리티 양} \times \text{유틸리티 가격})$$

기존의 RTO 솔루션은 운전 설정치(Set Point)만을 최적화할 수 있는데 비하여 PTOp-Vplant™는 설비의 가동여부까지 최적화할 수 있도록 추가 기능을 포함하고 있다. 즉, 펌프, 보일러, 압축기, 냉동기의 가동여부를 포함하여 운전 설정치를 최적화할 수 있고, 조업 스케줄링을 결정할 수 있다.

표 1. 최적화 기법 구분

최적화 기법	최적화 유형	기존 솔루션	PTOP-Opt
비선형계획법	운전 설정치 최적화	○	○
혼합정수선형계획법	조업 스케줄링	X	○
혼합정수비선형계획법	설비 On/Off 포함 설정치 최적화	X	○

### 3. PTOp-Vplant™ 적용사례

#### (1) 공기압축기 시스템

많은 공장들이 압축공기를 동력원으로 사용한다. 특히 반도체나 디스플레이를 생산하는 단일 공장에서 공기 압축기에 소요되는 전기료만 하더라도 수 천억원에 이를 정도로 대형 설비가 많다. 다수의 공기압축기에서 압축공기를 생산해 헤더를 통해 각 사용처로 공급한다. 압축공기 수요량은 공장의 조업 상황에 따라 가변적인데, 급작스러운 수요 증가나 압축기의 트립에 대비하여 일부 압축기는 언제든지 가동할 수 있도록 스탠바이 상태에 있어야 한다. 그런데 스탠바이가 많을수록 전력 손실이 발생하므로 꼭 필요한 대수만을 유지하는 것이 중요하다.

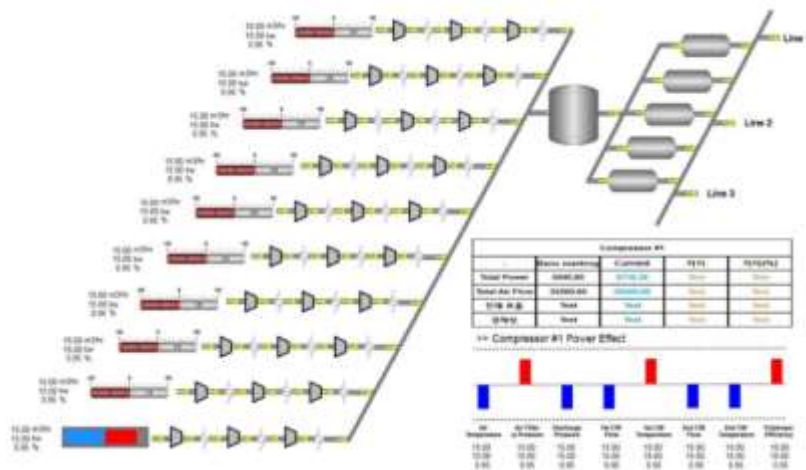


그림 4. 공기압축기 시스템 구성도

PTOP-Vplant™을 이용하여 각 공기압축기의 효율을 계산하고, 이를 기반으로 압축공기의 헤더 압력이 변할 때 압축기의 가동조합, 부하배분, 스탠바이를 결정한다.

PTOP-Vplant™를 10기의 병렬 압축기에 대해 적용하였다. 최적화 적용 전에는 10기의 압축기를 모두 가동하고, 이중 5기를 부분부하로 운전하였는데, PTOp-Vplant™는 압축기 2기를 가동 정지시키고, 단 1기만을 부분부하로 운전하도록 결정하였으며, 1대를 스탠바이로 준비하였다. 새로운 안에 따라 공장에서 필요로 하는 압

축공기를 차질 없이 공급하면서 가동 기수를 줄여서 전기 사용량을 5% 절감하였다.

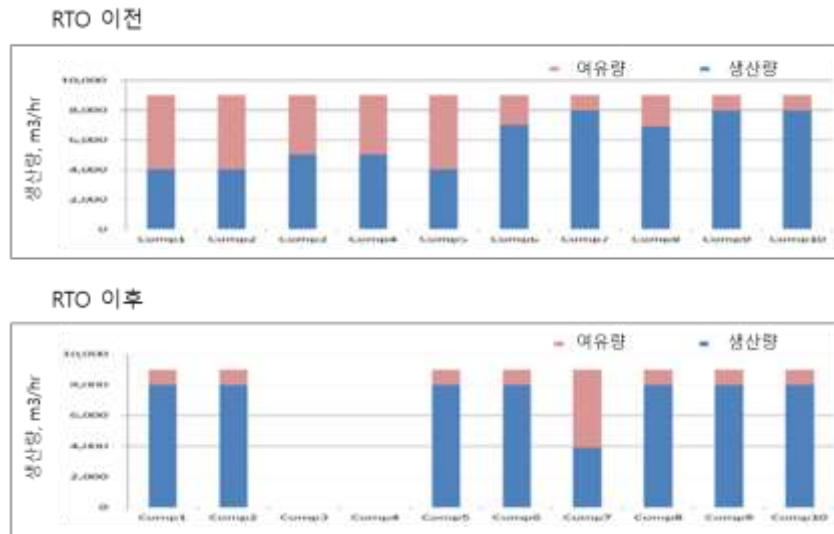


그림 5. 공기압축기 시스템에 대한 RTO 적용 전과 후 운전 비교

(2) 부생가스 스케줄링

제철소에서는 자체적으로 사용하고 남은 부생가스를 발전 플랜트에 공급해 전기를 생산한다. 제철소 조업에 따라 부생가스 생산량이 유동적이기 때문에 발전 플랜트는 부하 조절로 변화를 수용한다. 각 부생가스를 일시적으로 보관하는 홀더는 대기 방산량을 최소화하고, 후단의 압축기에 케비테이션(Cavitation)이 발생하지 않도록 레벨을 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 버너와 발전 플랜트의 On/Off를 줄여 운전자의 편의성을 높이고, 플랜트의 부하배분과 최적의 가동조합을 결정함으로써 경제성을 최대화 하여야 한다.

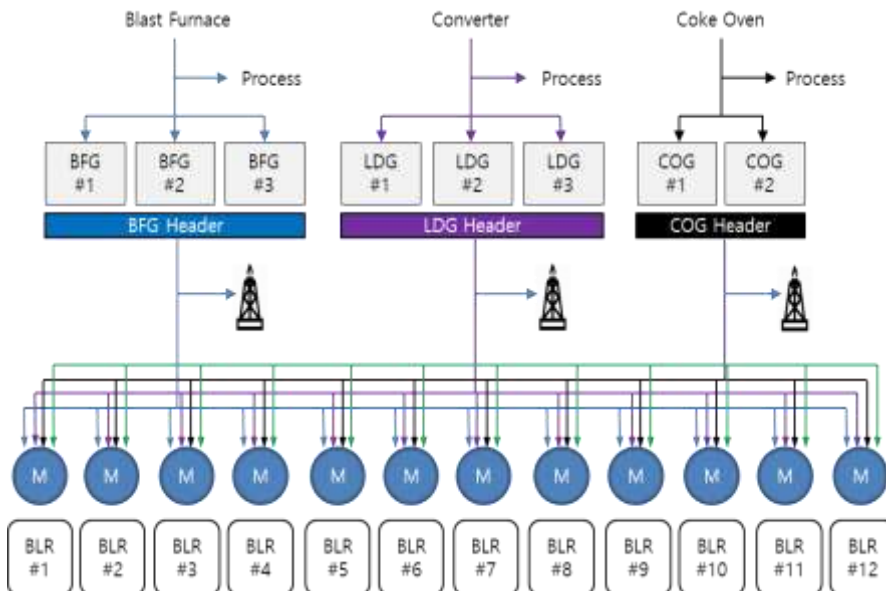


그림 6. 부생가스 시스템 구성도

3 종류의 부생가스를 12기의 발전 플랜트에 배분하는 문제에 PTOp-Vplant™를 적용하였다. 아래 그림과 같이 RTO 적용 전에 비해 홀더 레벨이 안정화되었으며, 버너 스위치 횟수도 줄었다. 또한 대기 방산량도 크게 감

소하였으며, 발전량이 1% 정도 증가하였다.

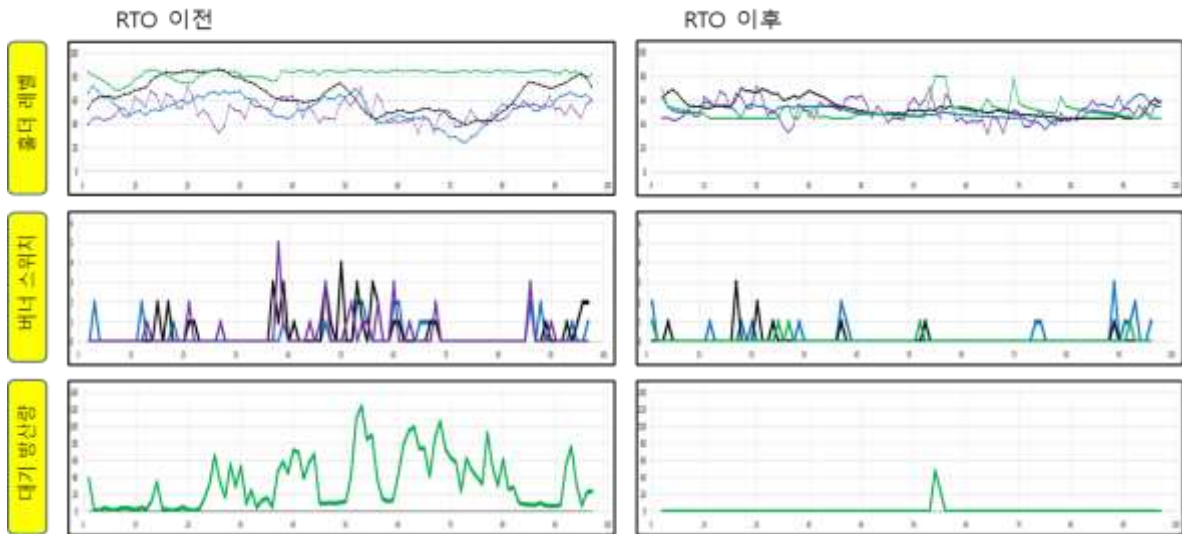


그림 7. 부생가스 시스템의 RTO 적용 전과 후 운전 비교

### (3) 원유정제 공정

원유정제 공정은 정유공장에서 가장 대표적인 공정으로 원유(Crude Oil)를 가열해 엘피지, 납사, 등유, 경유, 중유로 분리한다. 주요 설비는 가열로, 증류탑, 그리고 다 수의 열교환기로 구성된다. 원유는 도입 산지 별로 성상이 매우 다양하다. 특히 우리나라는 여러 산지에서 원유를 도입하기 때문에 원료의 성상 변화가 심해서 품질 변화를 줄이면서 고가의 제품을 최대한 많이 생산하는 것이 중요하다.

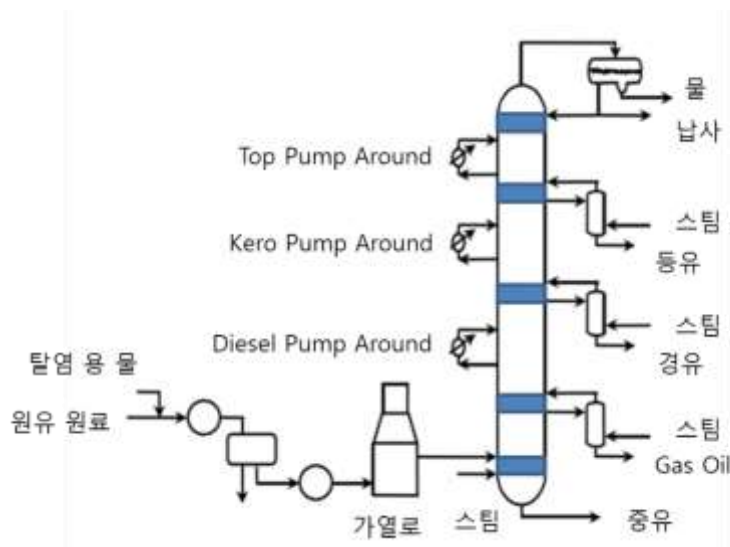


그림 8. 원유정제 공정 구성도

정유공장은 생산 제품 가격이 연간 수 조원으로 규모가 매우 커서 유량계의 미세한 오차도 경제성에 큰 영향을 미치므로 정확한 측정이 매우 중요하다. PTOF-Vplant™를 일산 10만 배럴의 정유공장에 적용하였다. PTOF-Vplant™의 데이터 보정 기능을 통해 유량계 오차를 보정하고, 운전조건 최적화를 실시하였다. 아래 공정도에서 검정색 숫자는 데이터 보정 전의 유량 측정값을, 붉은색 숫자는 데이터 보정 후의 유량 보정값을 나타낸다. 측정값에는 오차가 포함되어 있기 때문에 물질 수지를 만족하지 않지만, 보정값은 물질 수지를 만족한다.

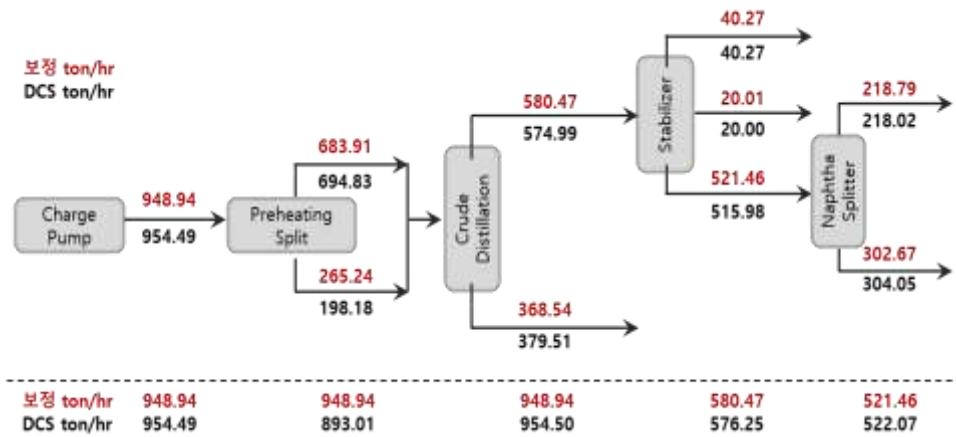


그림 9. 원유공장의 유량 측정값 대비 보정값

완성된 물질 수지를 이용해 각 설비의 효율 정보를 생성하고 디지털 트윈과 공장을 동기화하였다. 디지털 트윈으로 시뮬레이션을 실시하여 이익을 최대로 하는 운전조건을 도출하였다. 고부가 제품의 수율 증대와 연료를 절감하여, 일산 10 배럴의 공장에서는 약 40 억원(원유 처리량 기준으로 배럴당 10 센트)의 수익이 가능하다.

#### 4. 결론

지금까지 가격적인 문제로 대기업의 제조 공장 위주로 RTO 시스템을 적용하였지만, 최근에는 IT의 발전으로 시뮬레이션 기반의 디지털 트윈이 용이해짐에 따라 누구든지 시뮬레이션 기술을 보유한 기업은 자체적으로 RTO 시스템을 구축할 수 있게 되었다.

PTOP-Vplant™는 DWSIM과 파이썬 연동의 시뮬레이션 기반의 디지털 트윈으로, RTO 구축의 프레임워크 형태로 제공되며 RTO 구축을 훨씬 용이하게 지원한다. 특히 PTOV-Vplant™가 사용하는 DWSIM과 파이썬이 모두 공개 소프트웨어로 무상으로 사용할 수 있는 장점이 있다.

김 아 름  
[tingmrk@techdas.co.kr](mailto:tingmrk@techdas.co.kr)  
 (주)테크다스 [www.techdas.co.kr](http://www.techdas.co.kr)  
 서울특별시 금천구 디지털 1로 171, 410호 (가산동, 가산 SKV1 센터) (우편번호: 08503)  
 Tel. 82 (0)2 865 1313 Fax. 82 (0)2 865 1311