

## RTO: Real-Time Optimization (2/2)

포항공대 화학공학과 김정환  
서울대학교 응용화학부 한종훈

본 회에서는 RTO 프로젝트의 수행 단계 및 각 단계별로 유의해야 할 사항들에 관하여 필자의 경험을 토대로 살펴보도록 하겠다.

### 1) RTO 프로젝트의 수행 단계

RTO 프로젝트를 수행할 때는 보통 Feasibility Study 를 통하여, 대상시스템에 RTO 를 적용하는 것이 경제성 측면에서 많은 이익이 달성 가능한지, 기술적으로 달성 가능한 프로젝트인지에 대한 검토를 수행하며, 가능성이 있을 경우 본 프로젝트를 수행하게 된다. 본 프로젝트는 일반적으로 다음과 같은 순서를 따르게 된다.

#### 1) 셋업(Setup) 및 공정에 대한 이해

이 단계에서는 프로젝트 수행을 위한 공간을 확보하고 필요한 주변기기들을 셋업하는 작업을 수행하게 된다. 그리고, 셋업 작업을 빠른 시간 내 완료한 후에는 본격적으로 대상시스템에 대한 이해 작업을 하게 되는데, 이 때 기본적으로 살펴보아야 하는 자료로는 PFD(Process Flow Diagram), P&ID (Piping & Instrument Diagram), 공정운전데이터 (Plant History Data), 컨트롤 구조 (Control Scheme), 측정값들의 정확성에 대한 검토 작업을 수행하게 되며, 과거 프로젝트 수행 경험 및 자료의 분석이 필요하다. 최적화를 통하여 움직이고자 하는 최적화변수의 선정을 위해서는 현재 컨트롤 루프상에서 컨트롤이 가능한 변수를 선택해야만 한다.

RTO 프로젝트를 수행하는 팀을 구성할 때는 현장의 경험 및 상황을 잘 파악하고 있는 엔지니어 및 운전원이 함께 참여하는 것이 바람직하며,

함께 같은 위치에서 프로젝트를 수행하는 것이 효과적이다. 이는 프로젝트의 성과를 높이기 위한 커뮤니케이션 관리 측면에서 중요하며 이를 Collocation 이라고 한다.

프로젝트를 수행하는 PM(Project Manager)이 유의해야 하는 점 중의 하나로서 프로젝트 Scope 에 대한 관리가 매우 중요하다. 프로젝트는 유한한 기간 동안에 유한한 인력 및 자원을 이용하여 프로젝트 목표를 달성하는 작업이다. 그러므로, 프로젝트를 정해진 시간에 성공적으로 끝내기 위해서는 불필요한 작업을 수행해서는 안 되며, 계획에 없던 추가적인 업무의 첨가 역시 바람직하지 않다. 계획에 없는 추가적인 업무가 꼭 필요하며 고객의 입장에서 수행 중인 프로젝트와 연계하여 추가적으로 진행을 하고자 한다면 프로젝트 종료시점의 연기 또는 추가적인 인원의 투입이 필요하다는 점을 설득시키는 것이 또한 PM의 역할이기도 하다.

또한, 프로젝트팀이 성과를 제대로 내기 위해서는 팀원들에 대한 동기부여 및 커뮤니케이션에 대한 관리가 매우 중요하다. 동기부여는 개개인에 따라 Motivated 되는 요소가 다르므로 이를 적절히 활용하는 것이 중요하다. 금전적인 보상이 효과적인 경우가 있고, 칭찬이나 따뜻한 격려의 말 한마디가 더 효과적인 경우가 있으므로 개개인의 특성에 맞는 동기부여가 필요하다.

프로젝트의 진행에 따라서 완급을 조절하는 것 또한 중요한 요소이다. 일반적으로 프로젝트 초기에는 업무 강도로 보았을 때 강한 로드가 걸리는 것이 보통이며, 이 시기에 제대로 방향을 잡고 커뮤니케이션 관리가 잘 진행되면 프로젝트가 수월하게 진행되는 경우가 많으며, 그 이후에는 상황에 따라 페이스 조절을 하면서 프로젝트를 진행하면 된다.

또한, PM은 고객 및 내부에 대하여 원활한 커뮤니케이션이 진행될 수 있도록 주의하는 것이 필요하다. 업무 자체에 대한 해결능력도 매우 중요한 요소이지만, 원활한 커뮤니케이션을 통하여 서로 Win-win 하는 것이 중요하다. 프로젝트 종료를 통하여 원하는 프로젝트 목표를

성공적으로 완수하는 것도 중요하고, 한 편으로는 그 프로젝트를 통하여 만난 관계자들과 좋은 관계를 맺어 사람을 남기는 것도 매우 중요한 요소이다.

## 2) 공정모델링 및 시뮬레이션

이 단계에서는 공정분석 결과를 바탕으로 대상시스템에 대한 모델링 작업을 수행하게 된다. 대상 시스템에 따라서 적당한 정확도의 모델을 선정해야 한다. 모델링은 “원하는 최적화 목표를 달성할 수 있는 만큼만 정밀한 모델을 쓰는 것이 가장 바람직하다 (*Principle of Optimum sloppiness*)”.

대상시스템에 대한 모델링을 수행할 때는 가장 간단하고 단순한 유닛으로부터 출발하여 모델의 정확성을 계속 확인하고 진행하는 것이 바람직하다. 특히나 아스펜플러스 등의 상용 시뮬레이터를 이용하여 대규모 공장에 대한 모델을 구성하는 경우, 가장 간단한 유닛에서부터 계속 모델의 수렴여부를 확인하면서 더 큰 모델을 만들어 나가는 것이 중요하다.

시뮬레이터를 이용하여 대상 시스템에 대한 모델을 구성함으로써 얻을 수 있는 이점으로는 여러 가지가 있는데, 우선 시뮬레이션을 통하여 대상 시스템을 보다 잘 이해할 수 있게 되며, 부정확한 데이터에 대한 예측이 가능해 진다는 점이다. 또한, 대상 시스템에 대한 정확도가 어느 정도 높은 모델을 만들게 되면 공정개선에 대한 많은 아이디어를 미리 가상으로 적용해 보는 것이 가능하다는 장점이 있다. 여기서, 주의해야 할 점은 시뮬레이터의 경우, 철저하게 “Garbage In, Garbage Out!”의 원리에 충실하다는 점이다. 결국, 정확한 모델을 만들지 못하고, 그 결과를 신뢰할 수 없는 상황에서 What if analysis 와 같은 분석을 수행한 결과는 전혀 믿을 수 없으며, 오히려 위험한 결과를 초래할 수도 있다.

시뮬레이터를 이용하여 모델을 구성하는 일반적인 단계는 1) 적합한 Property 모델의 선정 및 parameter 의 조정, 2) 모델링 및 실제 데이터와의

검증을 통한 Tuning, 3)시뮬레이션 결과의 해석 등으로 이루어지는데, 시뮬레이션 모델의 오차가 발생할 수 있는 여러 요소들이 있다. Physical property model 에서의 오차, 부정확한 운전 데이터의 사용으로 인한 오차 등 많은 요소들이 부정확한 시뮬레이션 모델구성의 원인이 될 수 있다. 그러므로, 이러한 부분들에 대한 세밀한 분석을 통하여 모델의 정확도를 계속 높여가는 작업이 가장 중요한 작업이 된다.

모델링 작업 시 중요한 작업들 중의 하나는 주요 파라미터 값들을 결정하는 작업인데, 예를 들면 부하배분 최적화의 경우 각 장치의 효율이 매우 중요한 정보가 된다. 각 장치의 효율은 시간에 따라서 변동하고, 운전영역 및 조건에 따라서 복잡한 형태로 나타날 수 있다. 이런 경우에는 다변량 통계분석법(Multivariate Statistical Analysis)과 같은 기법을 이용하여 주요 효율정보를 결정하는 것도 좋은 방법이다. 다변량 통계분석법에 관하여는 본 사이트 내의 다른 연구 IP 에서 제공하는 좋은 정보들이 있으니 참고하기 바란다.

### 3) 컨트롤 시스템과의 연계

최적화 모델의 구성이 완료되고 각 모델의 정확성에 대한 확인 작업이 완료되면 최적화 모델을 컨트롤 시스템과 연계시키는 작업을 수행하게 된다. RTO 에서 결정된 최적값은 원가의 변동, 공정 운전상황의 변동 등을 감안하여 최적의 솔루션을 컨트롤 루프로 내려주게 되며, 컨트롤 루프에서는 이 값을 대상시스템에 적용하게 된다. 프로젝트 진행 초기 단계에 기존 컨트롤 루프에 대한 면밀한 검토가 필요한 것도 이런 이유 때문이다. RTO 와 컨트롤 시스템의 연계 단계에서는, 일반적으로 RTO 결과만을 직접 적용하기 보다는 공장운전에 대한 경험이 많은 운전원이 최적값의 적합성 여부를 판단하여 프로세스에 적용하는 오프라인 구조도 병행하도록 구성된다.

### 4) Commissioning/Validation

최적화 모델과 기존 컨트롤 루프를 연결한 후 시운전을 수행하게 된다. 이 때는 발생가능한 모든 경우에 대비하여 정상적인 운전이 될 수 있도록 하여야 한다.

#### 5) 성과의 유지 및 보완

공장은 계속 변화한다. 크게는 새로운 장치의 도입이나 제거 뿐만 아니라, 작게는 각 장치들의 효율변화로 인해서 대상 프로세스는 지속적으로 변화한다. 따라서, 처음에 만들어 놓은 모델의 정확도는 지속적으로 업데이트를 해 주지 않으면 점점 나빠진다. (Model performance degradation) 그러므로, 모델의 정확도에 대한 모니터링 및 장치의 도입이나 제거에 대한 모델변화를 발생 즉시 반영하여 줌으로써 모델의 정확도를 계속 높게 유지시켜 주는 것이 중요하다.

## 2) RTO 프로젝트의 성공적 수행을 위한 지식들

RTO 프로젝트의 성공적인 진행을 위해서는 화학공학 전반에 대한 깊이 있는 지식을 필요로 한다. 모델링 기술은 대상시스템에 대한 깊이 있는 이해를 필요로 하므로, 화학공학에서 다루는 분리공정이나 반응공학, 열역학에 대한 깊이 있는 지식을 필요로 하며, 경제성 및 모델링, 시뮬레이션 기술이 필요하다. 또한 공정데이터의 효과적인 분석과 의미 파악을 위해서는 통계에 대한 지식도 중요하다. 또한, 서로의 장점을 살려서 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위해서는 커뮤니케이션 기술도 매우 중요하다.

화학공정 최적화를 적용할 분야는 매우 다양하며 그 효과 또한 매우 크다. 이러한 기초 지식들에 대한 꾸준한 학습 및 경험의 축적을 통하여 화학공정최적화를 성공적으로 수행하기를 바라면서 본 IP를 마칩니다.