

보일러 플랜트 Shutdown 운전의 모델링

송한열, 허보경, 황규석, 윤인섭*
 부산대학교 화학공학과, 서울대학교 화학공학과*

Modeling of Shutdown Procedure in Boiler Plant

Han-Young Song, Bo-Kyeng Hou, Kyu-Suk Hwang, En-Sup Yoon*
 Dept. of Chemical Engineering, Pusan National University
 Dept. of Chemical Engineering, Seoul National University*

서론

보일러 플랜트의 조업중단은 Fuel Burner의 Firing을 중지하고, Pump, FDF, SAH 등과 같은 보조장치들을 shutdown함으로써 이루어진다. 그런데 shutdown 운전은 매우 복잡하여 자동화되지 못한 실정이며, 현장 운전원들이 경험적인 지식을 이용하여 플랜트를 shutdown하고 있다. 이때 운전원들은 반드시 Drum Level을 일정하게 유지시켜야 한다거나, Burner의 Firing을 서서히 중지시켜야 하는 등의 여러 가지 운전계약조건을 범하지 않아야 한다. 만일 이를 범하였을 경우 drum의 압력상승으로 인한 폭발사고나 불연소한 연료가 furnace안에 쌓이게 되어 폭발하는 사고 등이 발생할 수 있다. 이러한 사고와 복잡한 운전은 운전원에게 부담을 주며, 실제 운전원의 오조작, 오판단으로 인한 사고발생의 위험도 크다. 그러므로 운전원의 부담을 경감시키고 사고의 위험을 줄이기 위한 운전지원 시스템의 개발이 필요하다. 더 나아가 보일러 플랜트의 상황에 따라 조업중단을 위한 최적의 조작을 제시해 주는 조업중단 자동화 시스템의 개발이 필요하다. 이를 위해서는 먼저 운전자와 같이 보일러의 상황을 인식할 수 있고, 운전원의 운전지식을 이용하여 제약조건을 범하지 않고 목적상태에 도달할 수 있는 조작 절차를 찾아내는 문제를 해결해야 한다.

본론

보일러 플랜트의 조업중단의 조작절차를 합성하기 위해서 현장 운전원들이 조업중단을 행할 때 조작을 찾는 사고방법을 이용한다. 운전원들은 조업중단이라는 최종 목표를 달성하기 위해 먼저 플랜트의 운전상태 및 상황을 인식하고, 경험적인 운전지식 및 제약조건을 통해서 일련의 중간목표(subgoal)들을 설정하고, 그 중간 목표들을 달성하기 위한 조작을 단계적으로 찾아 가면서 최종 목표에 이르게 된다(Fig 1).

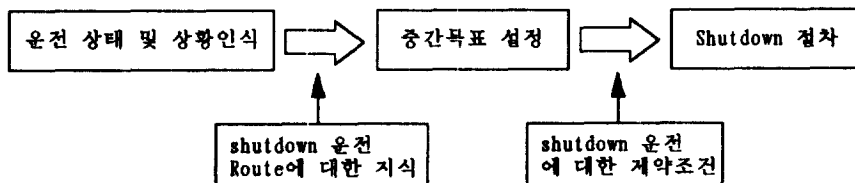


Fig 1. 조업중단시 운전원의 사고과정

조업중단시 운전원의 사고과정을 이용하기 위해 먼저 운전원이 가진 경험적인 지식을 체계적으로 정리하고, 이를 컴퓨터가 인식하고 이용할 수 있도록 표현하여야 한다. 그래서 운전자가 플랜트의 상태 및 상황을 인식하기 위해 사용하는

대상공정에 대한 정성적, 정량적 지식 및 기능간의 인과관계, 플랜트의 시간적인 변화과정 등을 비롯하여 운전원이 플랜트의 상황을 인식한 후 조업중단 조작들을 행할 때 사용하는 운전시 제약조건, 운전조작 방법에 관한 지식 Base를 작성하였다. 그리고 이 지식 Base를 이용하여 중간목표를 만들고, 이 중간목표마다 후보 조작을 탐색한 후, 이 후보조작에 근거하여 제약조건을 범하지 않고 목표상태에 도달할 수 있는 일련의 조작들을 합성할 수 있는 방법을 제시하였다.

<1> 중간목표 설정 및 후보조작 탐색

보일러 플랜트는 Fuel Gas 및 Fuel Oil의 Firing을 중지시키고, 보조장치들의 작동을 정지시킬 때 Shutdown된다(Fig 2).

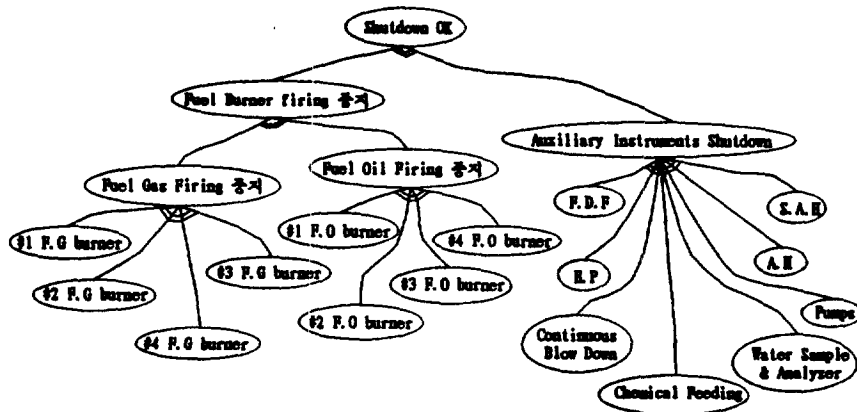


Fig 2. 조업중단에 이르기 위한 중간 목표들

그림에서 보는 바와 같이 최종 목표인 보일러 플랜트의 Shutdown에 이르기 위해서는 여러 가지의 중간목표들을 달성해야 함을 알 수 있다. 그러나 여기서 순서없이 무작위로 중간목표를 달성해 갈 경우 보일러 플랜트는 폭발, 화재 등과 같은 위험상황에 이르게 될 것이다. 예를 들어, burner의 firing을 중지시키기 전에 FDF와 같은 보조장치를 shutdown한다면, 연료가 연소되지 않는 상태로 furnace안으로 유입되어 재시동시 폭발의 위험이 있게 된다. 그러므로 운전자의 경험적인 지식 및 운전제약조건을 적용하여 중간목표의 순서를 결정해 주어야 한다. 이때 상위 Level의 목표부터 순서를 결정한 후 그 다음 하위 Level의 순서를 순차적으로 결정해 나감으로써 일련의 중간목표 Sequence를 만들어야 한다.

운전원의 경험적인 지식과 운전제약조건을 적용하여 중간목표들의 순서를 결정한 결과는 다음과 같다.

Normal Operation ➡ F.G Firing 중지(#4 burner → #3 burner → #2 burner → #1 burner) ➡ F.O Firing 중지(#4 burner → #3 burner → #2 burner → #1 burner) ➡ Auxiliary Instruments Shutdown(Continuous Blow down → Chemical Feeding → Pumps → F.D.F → S.A.H → A.H → E.P → Water Sample & Analyzer)

이와 같이 중간목표 Sequence가 만들어지면 각 중간목표에 도달하기 위해서 그 중간목표와 positive한 관계에 있는 조작후보들을 탐색해야 한다. 만일 정상운전상태에서 첫번째 F.G burner를 중지하는 중간목표를 달성하려고 한다면, 먼저 정상운전상태인지 확인한 다음 burner의 Firing을 중지하기 위해 F.G burner

line을 차단할 수 있는 조작을 찾아야 한다. F.G burner line에는 1개의 Cock Valve와 2개의 Gas Trip Valve(G.T.V)가 있다. 그러므로 이 중간목표에 도달하기 위해서는 line상에 있는 Valve를 잠그면 되는데, 이 조작이 바로 중간목표를 달성하기 위한 후보조작들이다. (Fig 3.)

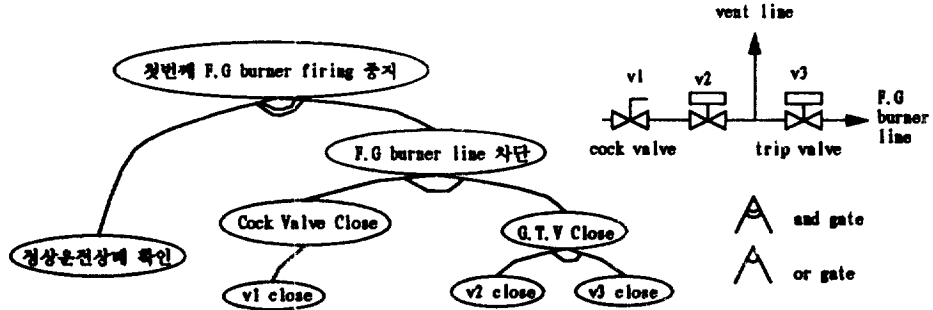


Fig 3. 조작후보 탐색을 위한 네트워크

이러한 방법을 이용하여 각 중간목표마다 후보조작을 탐색하고, 탐색된 조작은 다시 제약조건들에 의해 평가를 받는다.

<2> 조작 절차의 합성

각 중간목표마다 여러 가지 제약조건들이 있는데, 이 제약조건은 탐색된 조작 후보의 순서 및 조작방법을 결정해 주거나 불필요한 후보조작은 삭제해주고 필요한 조작을 첨가시켜 준다. (Fig. 4)

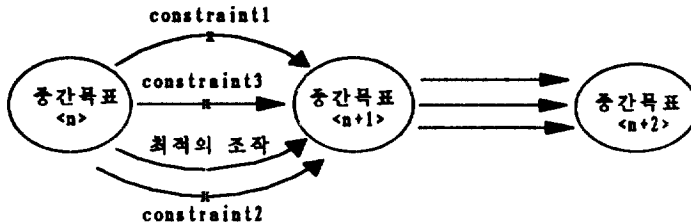


Fig 4. 조작절차 합성을 위한 기본개념

제약조건들은 적용되는 시점에 따라 세가지로 구분할 수 있다.

- ① Pre-Constraint : 조작을 하기 이전에 만족되어야 하는 제약조건
- ② Op-Constraint : 조작할 때 만족되어야 하는 제약조건
- ③ Post-Constraint : 조작한 후에 만족되어야 하는 제약조건

여기서 Pre-constraint는 조작의 순서를 결정해 주고, 불필요한 조작은 삭제해주거나 예비조건을 만족하기 위해 필요한 조작은 첨가시켜 준다. Op-constraint는 조작하는 방법을 결정해 주며, Post-Constraint는 조작의 정도 및 목표를 결정해 주거나 최대한의 안전을 확보하게 하는 조작을 결정해 준다.

제약조건에 의해 결정된 조작을 보면 대부분 밸브, Controller, switch 등에 의해 이루어지는데, 이 조작들은 모두 조작의 기능, 방향, 속도 및 목표점을 가지고 있으므로 각 조작을 Function, Direction, Speed, Target와 같은 parameter로서 표현하였다.

조작절차 합성기는 후보조작 탐색기로부터 후보조작을 받아서, 초기 정상운전 상태에서 조업중단에 이르기까지 위와 같은 제약조건들을 이용하여 각 중간목표마다 적합한 조작들을 합성하게 된다. 지금까지 살펴본 조작절차 합성을 위한 방법 및 Data의 흐름을 보면 다음 Fig 5와 같다.

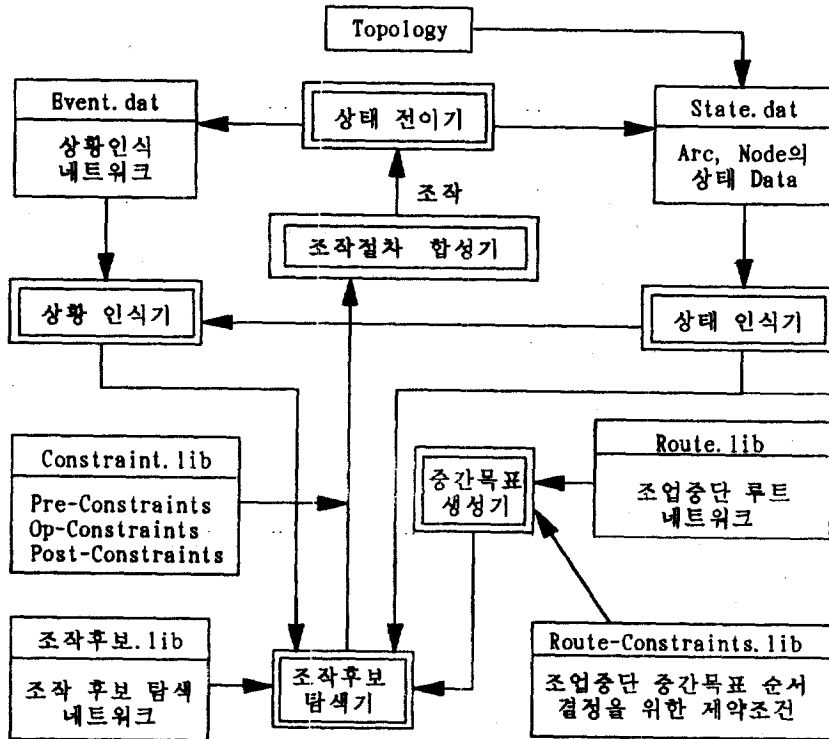


Fig 5. 보일러 플랜트의 조업중단 조작절차 합성에 대한 개요도

결론

보일러 플랜트의 조업중단 조작절차 합성을 위해 필요한 지식 - 즉, 보일러의 상태 및 상황 지식, 조업중단 루트 네트워크, 조작 후보 탐색 네트워크, 각종 제약조건 등 -을 정리하여 적절히 표현하였으며, 보일러 플랜트의 정상운전상태에서 조업을 중단하기 위한 조작절차를 합성하는 방법을 개발하였다.

감사

본 연구는 한국과학재단 지정 우수 연구센터인 공정산업의 지능자동화 연구센터의 일부 연구비지원으로 이루어졌으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. R. Rivas & D. F. Rudd, "Synthesis of Failure-Safe Operations", AICHE Journal, 20, 2, 320-325, 1974
2. R. H. Fusillo & G. J. Powers, "A Synthesis Method for Chemical Plant Operating Procedures", Comp. Chem. Engng., 1987
3. 허보경, "보일러 플랜트의 위험상태 예측 전문가 시스템에 관한 연구", 부산대학교 화학공학과 석사학위논문, 1996