화학공정의 Startup을 위한 위험성 평가 전문가 시스템

이 상규, 박 선원
한국과학기술원 화학공학과

A HAZOP Analysis Expert System for the Startup of Chemical Processes

Sanggyu Lee, Sunwon Park
Dept. of Chem. Eng., KAIST

서론

화학공장의 조업 안전성을 위한 공정의 위험성 평가와 그에 따른 설계 변경 및 조업 상태의 재설정은 대형사고의 방지 및 생산성의 향상을 추구할 수 있다. 현재 화학 공정을 위한 대표적 위험성 평가법으로는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째로는 경험적 자료에 따른 방법으로 Process hazard checklists 방법과 Safety review 방법 등이 있으며, 이들 방법들은 현재 널리 사용되고 있으며 방대한 양의 지식이 축적되어 있어서 사고의 재현 방지에는 도움이 되나 경험되지 않은 사고에 대한 대책이 없다. 다른 방법으로는 예측적 위험성 평가법으로 Hazard surveys 방법과 "What If" 방법, HAZOP 분석 방법, FMECA (Failure Modes, Effects, and Critical Analysis) 등이 있으며[2], 최근에는 Human error analysis 와 CAZOP (Control system HAZOP)등과 같이 화학 공정 자체뿐만 아니라 그 주변 사항을 분석하려는 시도 역시 활발하다. 이러한 예측적 위험성 평가법 중에서는 HAZOP 분석 방법이 널리 사용되고 있으며, 그 방법 자체가 가장 체계적으로 정립되어 있어서 객관적 평가로의 가치가 있다. HAZOP 분석 방법은 많은 전문가들과 그들의 시간이 필요하다는 단점을 갖고 있으므로, 최근에는 이를 자동화하는 전문가 시스템의 연구가 활발하다.[1,4]

화학공장의 조업중 가장 위험하고 사고가 많은 때가 startup 시기라는 것은 잘 알려져있다. 본 연구에서는 화학공장의 startup 절차에 대하여 분석하고 그 위험성 제거를 위한 HAZOP 분석 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 일반적 화학공정에 쉽게 적용할 수 있도록 G2 shell을 이용한 객체 지향형의 전문가 시스템 형태로 개발되었다. 이제까지의 자동화된 HAZOP 전문가 시스템은 공정의 위험에 대한 원인과 결과만을 보여주었으나, 본 연구에서는 HAZOP 분석의 궁극적 목표인 안정한 형태로의 공정 구조 변화 및 startup 절차 변경 등이 자동적으로 제시되어, 지식이 있는 범위 내에서의 최적 상황이 될 때까지 제안 및 분석하는 완전 자동화된 시스템이다.

본 시스템을 설명하기 위한 대상 공정은 HDS (Hydrodesulfurization) 공정으로 분석을 위한 정보는 그 공정의 PFD (Process Flow Diagram)이며 이를 기반으로 시스템은 자동적으로 startup 절차를 생성한 후 이 절차에 대한 위험성을 분석하고 변환시킨다. 여기서 startup 절차의 자동 생성은 Naka의 방법을 이용하였다.[3]

화학 공장의 Startup을 위한 HAZOP 분석 시스템

G2 shell을 이용한 객체 지향형 형태의 본 HAZOP 분석 시스템은 크게 4개의 부시스템으로 구성되어지며, 그들의 정보 흐름 형태를 Fig.1에 나타내었다.

HAZOP 분석 시스템은 제공된 PFD의 정보를 가지고 HAZOP 분석이 개입되

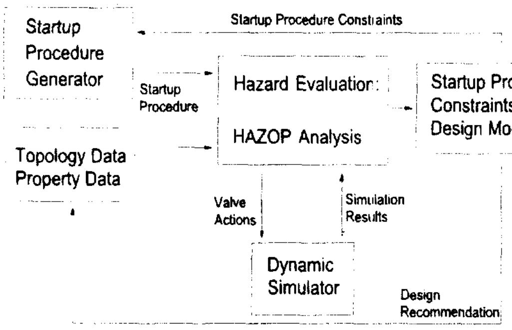

Fig.1 Information Flow of Hazop Analysis Expert System

지 않은 상황의 startup 절차를 만든다. 이는 각 단위 공정의 holdup과 물질의 흐름만을 고려한 것이다. 그 정보는 Hazard Evaluation 부시스템으로 전달되며, 이 부시스템은 동적 모사기를 통하여 공정의 상태를 얻고 위험성 분석을 하게된다. 이러한 위험성 분석 결과는 Startup procedure constraints and design modification 부시스템으로 전달되고 분석되어, 그 상황에 맞는 적절한 조치를 Startup procedure generator에 보내거나 공정 구조의 변화를 제안한다. 그후 Startup procedure generator는 다시 startup 절차를 만든다. 이러한 순환적 정보 흐름 및 분석은 대상 공정에 대하여 저장된 지식에 의한 분석 결과에서 더 이상의 위험성 문제가 없을 때까지 계속된다.

위험성 분석을 위한 지식은 General knowledge for general unit, General knowledge for specific unit과 Specific knowledge for specific unit의 3 단계적인 계층적 구조를 갖고 있어서, 단위 공정의 일반 지식과 특정 지식들의 관리가 용이하다. 이들 위험성의 제거를 위한 Startup procedure constraints and design modification 시스템은 5 단계의 계층적 구조를 갖고 있다: Startup 절차의 변경, 공정 조업 변수 조정, 공정 구조 변경, Safety equipments의 부착, 경보 및 고장 진단 장치의 제안. 이들 위험성을 피하기 위한 방법론들은 Hazard Evaluation에서 온 정보에 대하여 최초에는 Startup 절차의 변경 지식을 적용하여 위험 상태로부터 벗어나게 한다. 그러나 Startup 절차의 변경만으로 풀 수가 없을 때엔 그 다음 단계로 차차 적용하여 그 안전성을 진단하게된다.

Fig.2는 본 HAZOP 분석 시스템의 도식적 사용자 환경을 보여 준다. 대상 공정에 대한 PFD는 왼쪽의 단위 공정 class에서 instance를 끌고 와서 도면위에 놓고 그들을 연결함으로써 간단히 그릴 수 있다. 그림 상단의 테이블은 각 밸브의 개폐상태와 주요 유량을 나타낸다.

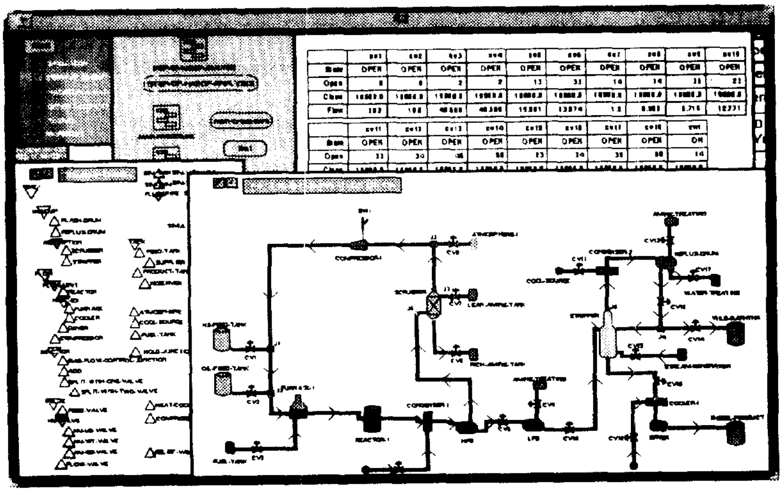

Fig.2 Graphical user interface of the HAZOP Analysis Expert System

HDS 공정에의 적용

Hydrodesulfurization 공정은 수소를 이용하여 오일에서 황을 제거하는 잘 알려진 공정이다. Fig.3는 대상 공정의 PFD로 두 개의 feed 라인과 두 개의 product 라인이 있다.

시스템의 Startup procedure generator가 최초에 구성한 startup 절차는 Fig.4와 같다. 이 startup 절차는 hazard 분석이 개입되지 않은 형태이며, x 축은 스케일된 시간 축이다. 이의 hazard 및 operability 분석에 따른 첫 번째 문제점은 반응기 reactor-1의 촉매 저하이다. 이 문제는 오일과 촉매가 일정 온도 이하의 범위 내에서 접촉하였을 경우로 이는 촉매 성능에 해를 준다는 것이다. 이를 피하기 위하여 시스템은 bypass 밸브를 자동적으로 생성하고 이에 대하여 다시 위험성을 분석한다. 그 결과에 따른 공정의 변화를 Fig.6의 reactor-1 주변에서 발견할 수 있다. 그 이후 계속하여 simulation 정보를 분석하며, purge 밸브와 compressor 스위치에 따른 압력 변화에 문제가 있음을 발견하고 시스템은 startup 절차를 변화시킨다. 이러한 분석은 startup 이후 공정이 정상 상태로 거의 갈 때까지 수행된다.

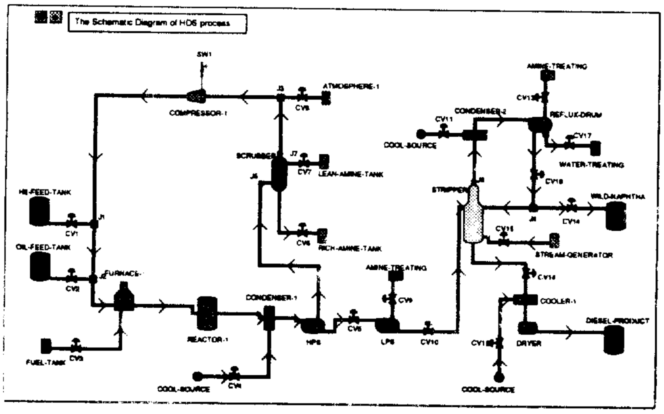

Fig.3 PFD of HDS Process Before HAZOP Analysis

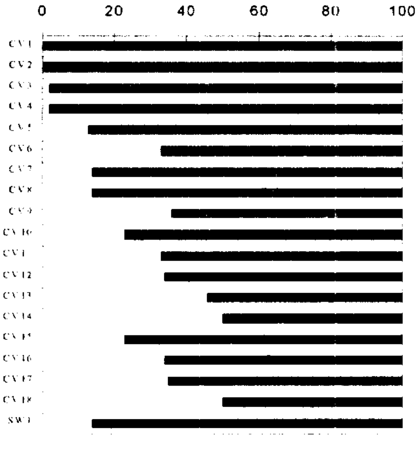

Fig. 4 Startup Procedure Before HAZOP Analysis

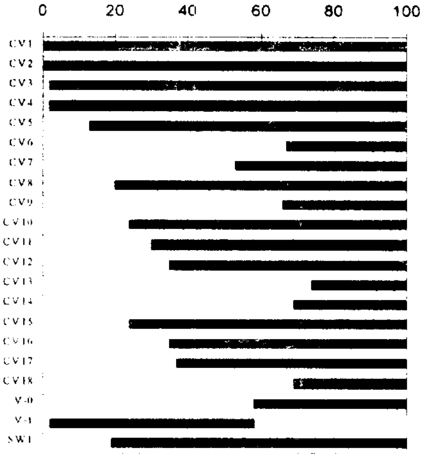

Fig. 5 Startup Procedure After HAZOP Analysis

공정의 startup 절차 그 자체에 대한 분석 이후, 시스템은 startup 절차의 HAZOP 분석을 위하여 각각의 밸브에 'Impossible Opening'을 순차적으로 적용해 본다. 이 'Impossible Opening'의 뜻은 어떤 밸브가 startup 절차에 의하면 열려져야하나, 어떤 문제로 인하여 열리지 않게 되는 경우를 뜻한다. 즉 밸브 CV7이 정

해진 시간에 열리지 않으면 H_2S 가스가 purge 밸브를 통하여 배출된다. HDS 공정의 전체 밸브들을 분석한 결과 CV7, CV9, CV11, 그리고 CV13에 문제가 있을 수 있음을 발견하고, CV7 과 CV11에 대해서는 startup 절차의 변경과 CV9 와 CV13 에 대해서는 safety 밸브를 자동적으로 부착시킨다. 또한 이 시스템은 각각의 밸브에 대한 'Impossible Closing' 역시 분석하는데, 이는 어떤 밸브가 startup 절차에 의하면 닫혀져야하나, 어떤 문제로 인하여 그냥 열려 있는 경우의 위험성 분석이다. 이러한 분석들의 결과인 startup 절차를 Fig.5에 나타내었다. 또한 결과로 나타난 PFD를 Fig.6에 나타내었다.

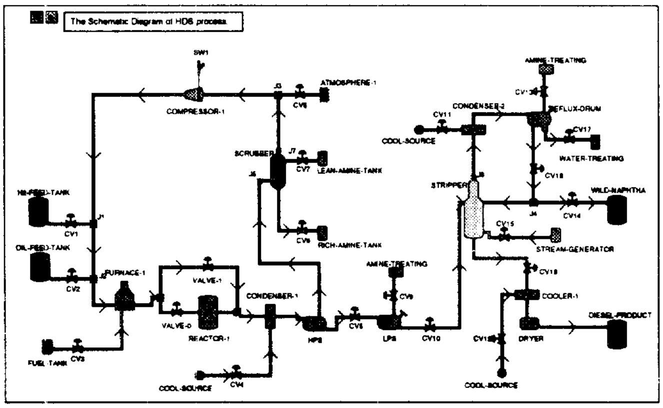

Fig.6 PFD of HDS Process After HAZOP Analysis

결론

화학공장의 조업중 사고가 많은 때인 startup에 대하여 자동적으로 HAZOP 분석을 할 수 있는 전문가 시스템을 개발하였다. 또한 다른 일반 화학공장에 대해서도 쉽게 적용되도록, G2 shell을 이용한 객체지향형 구조의 단위 공정 모델로 구성하고, HAZOP 지식과 설계 보완 지식을 계층적 구조로 구성하였다.

개발된 시스템을 평가하기 위한 대상 공정은 HDS (Hydrodesulfurization)으로, 위험성 분석의 결과로는 입력된 PFD의 반응기에 bypass 밸브를 붙이고 startup 절차를 바꾸는 등이었다. 이 결과는 실제 대상 공정의 조업 매뉴얼과 비교하였을 때 상당히 타당성 있는 결과였다.

본 시스템을 계속적으로 개발하기 위해서는 일반적 화학공정에 계속적으로 적용하여 문제점을 찾고, 더 많은 양의 위험성 평가 자료와 그에 대응할 수 있는 설계 변경 자료를 만들어야한다.

<Acknowledgement>

포항공대 지능 자동화센터를 통한 한국과학재단의 부분적 재정지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] Catino, C. A., and L. H. Ungar, "Model-Based Approach to Automated Hazard Identification of Chemical Plants", AIChE, 41, 97 (1995)

[2] Crowl, D. A., J. F. Louvar, *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*, Prentice Hall (1990)

[3] Naka, Y., and C. McGreavy, "Modular Approach for Start-up Operational Procedures of Chemical Plant", the 5th International Symposium on Process Systems Engineering, 1007 (1994)

[4] Venkatasubramanian, V., and R. Vaidhyanathan, "A knowledge-Based Framework for Automating HAZOP analysis", AIChE, 40, 496 (1994)