

## ASCA : 위험 선별 및 분석 통합 자동화 시스템 개발

한의진, 김용하, 최승준, 김구희\*, 윤인섭  
 서울대학교 응용화학부, 서울대학교 화학공정신기술 연구소\*

### ASCA : Development of Automated System for Hazard Screenig & Analysis

Euijin Han, Yong Ha Kim, Seung Jun Choi, Ku Hwoi Kim\*, En Sup Yoon  
 Department of Chemical Engineering Seoul National University, Seoul, Korea  
 Institute of Chemical Processes, Seoul National University, Seoul, Korea\*

#### 1. 서론

화학공장의 위험영향평가는 새로운 공정의 설계 및 조업 시 공장의 안전성 확보를 위해서 반드시 수행되어야 한다. 이러한 위험영향평가는 사고 발생시 공정의 손실 감소와 생산성 향상이라는 인식에서 출발하여 여러 정성적, 정량적 평가방법에 의하여 수행되어 왔으며, 현재는 이러한 방법들을 이용한 공장 내/외 지역에 대한 위험영향평가가 시행되고 있다. 위험영향 평가방법의 결과는 공정 내의 안전장치나 안전을 위한 시설의 크기, 주변 시설과의 최소 이격거리 등과 같은 비상조치 계획의 결정 등에 활용되어 계획성 있는 투자로 비용 절감 효과 및 공정 내의 생산성 향상을 유도 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이러한 정량적 위험 영향 평가 방법들은 해당 공정 내에서 발생 가능한 사고의 유형과 시나리오에 따라 그 영향이 과대평가되거나 또는 평가결과의 다양성이 존재하는 단점이 있다. 따라서 기존의 물질의 절대량만을 기초로 분석하는 방법에서 좀 더 체계적인 방법으로 실제 공정 내에서 가장 큰 위험영향을 보이는 사고의 시나리오를 구축하는 방법이 필요하다. 체계적으로 공정의 위험성을 관리하기 위해서는 위험성 분석 자동화 소프트웨어(아스카 : ASCA)의 개발이 필수적이다.

#### 2. 위험성분석 자동화 소프트웨어의 개발

화학공장은 다른 어떤 공장보다 훨씬 위험성이 높으며 사고의 가능성도 크다. 아스카

(ASCA)는 이러한 화학공장을 안전하고 체계적으로 관리를 할 수 있도록 도와주는 프로그램으로 다음의 그림1과 같은 순서로 프로그램이 전개된다.

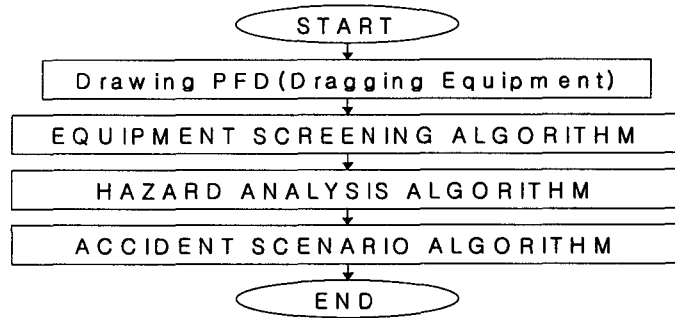


그림 1. 아스카의 흐름도

① Drawing PFD ( PFD 그리기)

처음 프로그램을 시작하고 위험분석을 실행하기 전에 공정의 PFD를 작성한다. 이러한 PFD는 실제 도면보다 훨씬 단순화시킬 수 있으며 단순화시켜 알아보기 쉽게 표현할 수 있다. PFD는 프로그램 오른쪽의 Equipment Bar에서 PFD Drawing창에 Drag하여 그릴 수 있으며 그려진 공정의 각 장치를 더블 클릭하면 각 장치에 대한 정보를 입력할 수 있다. 일단 Drag로 그려진 공정의 모든 장치는 빨간색 테두리로 그려지게 된다. 아스카에서 현재 고려되고 있는 장치는 파이프, 반응기, 펌프, 밸브, 열교환기, 저장탱크, 혼합기, 압축기, 증류탑이며 이는 공정의 특성에 따라 필요로 되는 적절한 장치를 추가시키거나 필요 없는 장치를 뺄 수 있는 맞춤형태로 프로그램을 수정할 수 있다.

② Equipment Screening Algorithm (장치의 위험도 순위 결정)

아스카에서는 공정 내에 존재하는 모든 장치들의 위험 가능성을 평가하는데 어느 장치가 가장 위험한지 다음과 같은 요소들을 중심으로 판단한다.

- Material Properties
- Flow Rate
- Operating Condition
- Process Pressure, Process Temperature
- Failure Rate
- Age

이러한 5가지 요소를 가지고 공정에 존재하는 장치의 위험성을 판단할 수 있고 어느 장치가 가장 위험한지를 알 수 있다. 이 다섯 가지 Factor들은 모두 같은 비율로의 위험성을 가지는 것이 아니라 다른 잠재 위험성을 가지기 때문에 위의 순서대로 큰 잠재 위험성을 가진다. 이렇게 다섯 가지 Factor들이 각각 계산된 후 모두 통합되어 하나의 위험도 점수로서 계산되며 장치의 위험도 순위가 결정된다.

### ③ Hazard Analysis Algorithm

(고장이 발생한 장치의 변수 이상 및 연속 공정에서의 변수 이상 전파)

각 장치들의 위험도 순위를 정한 다음 높은 위험 잠재성을 가지는 장치를 대상으로 그 장치에서 어떤 고장이 발생했을 때 고장으로 인한 장치 내부의 변수-온도, 압력, 유량, 농도, 액위-일탈을 확인할 수 있다. 장치에서 발생할 수 있는 고장은 각 장치별로 다르고 또한 같은 장치라고 해도 공정의 특성에 따라 달라질 수 있다. 현재 아스카에서는 각 장치별로 장치특성에 따른 고장모드를 제시하고 있는데 각 장치의 고장모드는 현재 설정과 다르게 특정 공정에 따라 맞춤형태로 다르게 바꿔줄 수 있다. 사용자는 이러한 고장모드를 적절히 선택하고 전파가 진행되고자 하는 경로를 선택한다. 또한 적절한 고장모드가 없을 시에는 사용자가 변수의 일탈을 선택할 수 있도록 한다. 사용자가 직접 입력하는 경우는 각 변수에 따라 하강, 변화 없음, 상승 중에 선택하여 그 변수들이 어떻게 다른 장치로 전파되는지를 살펴 볼 수 있다. 전파경로를 설정하면 선택된 이상전파경로 모두를 볼 수 있으며 설정된 경로에 따른 변수이상 전파과정을 확인 할 수 있다. 연속공정에서는 모든 장치가 연결되어 있으며 각 장치들은 스트림이 나가고 다음 장치로 그 스트림이 들어가기 때문에 변수의 이상이 다음 장치로 전파가 된다. 예를 들어 반응기에서 예상치 못한 발열반응으로 반응기 안의 물질들의 온도가 실제 운전조건보다 높게 상승한다면 그 반응기에 연결된 파이프에는 실제 운전조건에서 벗어난 온도를 가진 물질들이 흐르게 된다. 이러한 물질은 그 다음 또 그 다음 장치에 영향을 주고 큰 사고로 연결될 가능성이 있는 것이다. 변수 이상의 전파과정은 장치의 변수 별로 상승(▲) 변화 없음(●), 하강(▼)으로 표현되며 고장위험 분석도를 통하여 PFD상에 나타나게 함으로써 사용자가 변수의 이상이 어떻게 전파되는지 한눈에 알아 볼 수 있도록 한다.

### ③ Accident Scenario Algorithm (발생 가능한 사고 및 사고 영향 평가)

ASCA에서는 사고가 일어나는 발생 과정을 3단계로 나누고 있다. 장치의 고장으로 생기는 근본 기능 이상, 근본 기능 이상으로 발생하는 중간 기능 이상, 중간 기능 이상을 지나서 최종적으로 발생하는 사고로 전개되어진다. 근본 기능 이상은 사용자가 선택하는 각 장치별 고장을 의미하여 중간 기능 이상은 근본 기능 이상으로 인한 누출 혹은 파열을 의미하며 이러한 누출 혹은 파열로 인한 최종적인 사고가 일어나는데 이러한 사고는 크게 화재와 폭발로 나뉘어 지며 세부적인 사고의 종류는 다음과 같다.

< 화재 >

- FireBall(화구)
- PoolFire(액면 화재)
- JeFire(고압분출 화재)

< 폭발 >

- VCE(증기운 폭발, Vapor cloud explosion)
- BLEVE(비등액체 팽창증기폭발, Boiling liquid expanding vapor explosion)

사고 잠재성이 있는 사고를 미리 계산하고 그 중 사고 영향을 예측하고자 하는 사고만 선택하고 사고 영향 예측 계산을 실행한다. 각 사고의 그래프는 화재인 경우 즉, PoolFire, JetFire, FireBall인 경우는 그 사고의 거리(m) 당 복사열( $W/m^2$ )과 평면도에 대한 그래프가 나오며, 폭발인 경우 즉, VCE, BLEVE인 경우는 그 사고의 거리(m) 당 폭발과압(bar)과 평면도에 대한 그래프가 생성됩니다.

### 3. 사례연구

#### ① 공정개요

당 공장은 열분해 가솔린(P.G)를 원료로 하여 주산물인 Benzene, Toluene, Xylene을 생산하고 C5/C9+ /Raffinate(C6-C8 Non Aromatic)의 부산물을 처리하는 System으로 방향족 공장은 H.T.U(Hydrotreating Unit), Extraction Unit, Fraction Unit, Hydrodealkylation Unit으로 구분된다. 이렇게 구분되는 공정 중에 H.T.U에 대하여 ASCA를 적용하여 보았다. 이 공정의 공정도는 그림2와 같으며 이를 아스카에서 나타낸 공정도는 그림3과 같다.

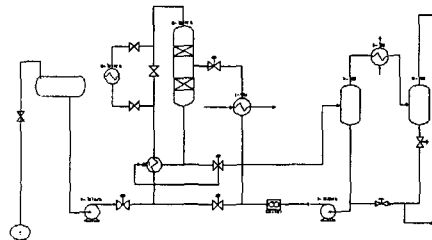


그림 2. H.T.U공정의 PFD

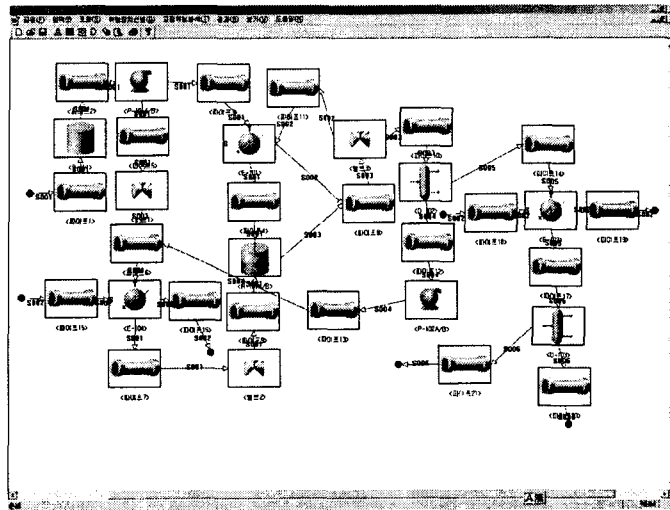


그림 3. H.T.U공정의 아스카에서의 PFD

② H.T.U공정의 위험 선별 및 분석을 위한 아스카의 적용

그림 3과 같이 PFD를 작성한 후 장치정보를 입력하고 Equipment Screening Algorithm에 의해 위험장치를 선별 하고 나면 그림 4와 같은 결과를 얻는다. 순위를 막대그래프로 나타냄으로써 위험장치를 훨씬 시각적으로 나타낼 수 있다. 이렇게 잠재 위험성에 대한 순위를 정하고 나서 Hazard Analysis Algorithm에 의해 고장위험 분석을 실행하게 된다. 위험장치 선별 실행이 끝나고 나면 어떤 장치에서 고장이 발생했을 때 그 고장으로 인한 변수 이상이 어떻게 진행되는지를 알아본다. H.T.U공정에서 D-101에서의 고장위험 분석을 실행해 보면, 변수이상의 전파과정은 그림5와 같으며 고장위험 분석의 결과는 변수이상 전파 리스트와 고장위험분석도로 나타낸다. 고장위험분석을 실행한 후에는 고장이 일어난 장치에 대하여 변수이상으로 어떤 사고가 발생할 수 있는지 또한 그 사고의 영향이 어느 정도인지 알아본다. 사고영향평가를 실행하

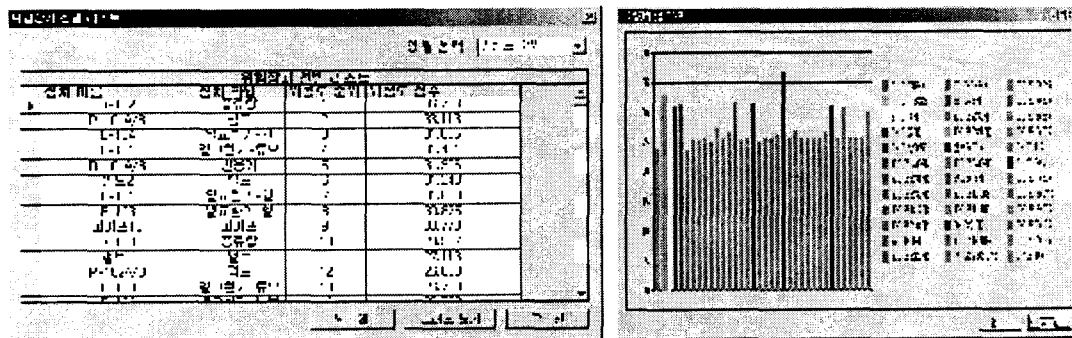


그림 4. H.T.U공정의 위험장치 선별 결과

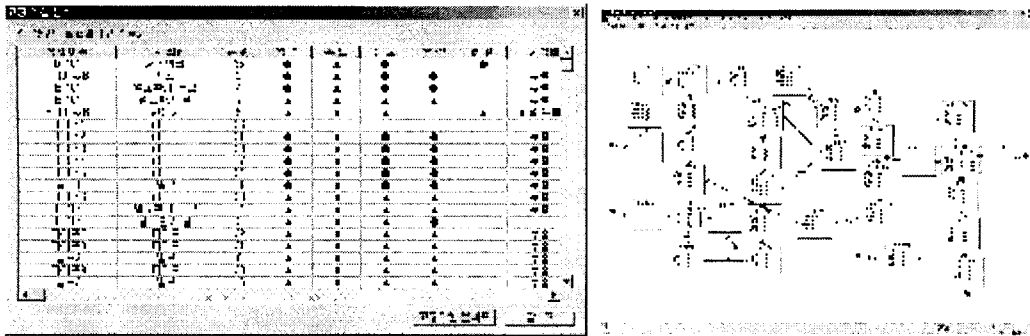


그림 5 H.T.U공정에서 D-101의 단일실패(온도상승)일 경우의 고장위험 분석결과

기 위해서는 추가적인 입력이 필요한데 이 때 입력창은 그림6과 같고 또 이를 입력하고 난 후의 사고영향평가 결과 그래프는 그림 7과 같이 나타난다.

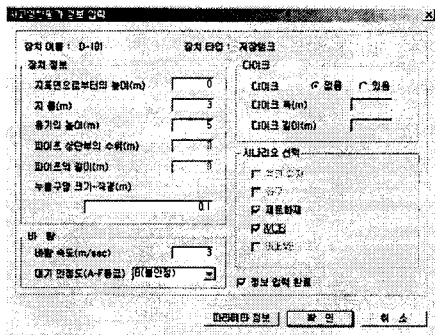


그림 6. 정보 추가 입력 창

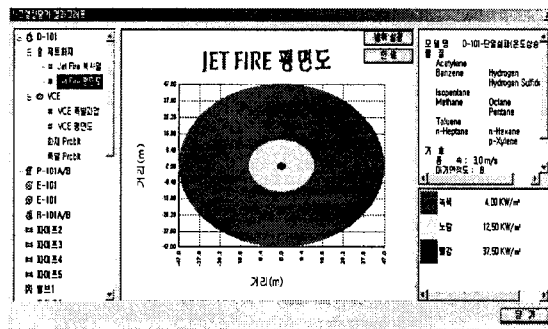


그림 7. 사고영향평가 결과 그래프 창

#### 4. 결론

위험 선별 및 분석 통합 프로그램의 개발로 화학공정에서의 체계적인 관리가 쉽게 이루어질 수 있으며 화학공정의 초기 설계단계나 가동되고 있는 화학공정에 적용함으로써 사고 시나리오를 세워볼 수 있으며 사고에 의한 비상사태를 대처할 수 있는 능력을 키울 수 있다.

#### 4. 참고문헌

- 김구회, 화학공정의 가상 사고 시나리오 합성에 기반한 위험성 평가 시스템, 박사학위논문, 서울대학교 응용화학부(2000).
- 서정철, 화학공정의 안전성 분석을 위한 다중 모델 접근 방법, 박사학위논문, 서울대학교 화학공학과(1997).