

## 위험 선별 및 분석 통합 자동화 시스템 개발에 대한 연구 Study on Development of Automated System for Hazard Screening & Analysis

한익진<sup>†</sup> · 김용하 · 최승준 · 김구희\* · 윤인섭

Eui-Jin Han<sup>†</sup> · Yong-Ha Kim · Seung-Jun Choi · Ku-Hwoi Kim\* · En-Sup Yoon

서울대학교 응용화학부, \*서울대학교 화학공정신기술 연구소  
(2003. 6. 27. 접수/2003. 12. 16. 채택)

### 요 약

화학공장은 위험한 물리 화학적 특성을 가진 많은 물질들을 다루기 때문에 다른 어떤 공장보다 더 사고의 위험성이 크다. 따라서 화학공장에서의 각 장치에 대한 위험성 평가는 반드시 필요하다.<sup>1)</sup> 현재 사용되고 있는 위험성 평가 방법은 정성적 또는 정량적인 방법으로 각각 개별적으로 적용되는데 정성적, 정량적의 통합된 방법을 적용하면 빠르고 쉽게 적용할 수 있다는 정성적인 방법의 장점과 정밀하게 평가될 수 있다는 정량적인 방법의 장점을 모두 갖출 수 있다. 이러한 통합된 위험성 평가방법을 적용하고 자동화한 ASCA(Automated System for Hazard Screening & Analysis)라는 S/W를 개발하여 실제 공정에 적용하였다. 본 연구에서는 방향족 공정 중 H.T.U(Hydrotreating Unit)에 대하여 ASCA를 적용하여 각 장치의 상대 순위를 알아보고 D-101이라는 저장탱크에서 단일 실패로 온도 상승이 일어난 경우의 장치 고장으로 인한 변수 이상과 발생 가능한 사고의 영향을 알아보았다. 이러한 통합 위험성 평가 시스템을 화학공장에 적용하여 봄으로써 사고 시나리오를 세워서 사고에 대한 비상사태를 대처할 수 있는 능력을 키울 수 있으며 사고를 예방할 수 있을 것이다.

### ABSTRACT

Hazard Analysis is one of the basic tasks to ensure the safety of chemical plants. However, it is an arduous, tedious, time-consuming work and requires multidisciplinary knowledge and demands considerable cognitive load from the analysts. To overcome these problems, there have been attempts to automate this work by utilizing computer technology, particularly in the area of knowledge-based technique. There is two methods in the risk assessment of Chemical plant; quantitative and qualitative risk assessment. Both of them have been applied respectively, but if the integrated method of quantitative and qualitative risk assessments is used, all of the advantage of two methods can be applied. It is difficult to carry out integrated risk management of chemical plant. Therefore, automated integration system of risk management is necessary. We developed S/W, Automated System for Hazard Screening & Analysis(ASCA) and applied to practical plant. By applying ASCA to case study, we can get the information about relative ranks of equipments, variable deviation, and consequence of potential accident. In this study, we applied ASCA to the H.T.U(Hydrotreating Unit) of the process to produce aromatic material. We could know relative ranks of equipments, variable deviation of malfunction in storage tank, D-101, and consequence of potential accident using ASCA. If integrated risk management in the chemical plant is applied, we can develop the emergency plan and prevent the accident.

**Keywords :** Risk Assessment, Process Safety, Relative Rank, Consequence Analysis

### 1. 서 론

화학공장의 위험성 평가는 새로운 공정의 설계 및

조업 시 공장의 안전성 확보를 위해서 반드시 수행되어야 한다. 이러한 위험성 평가는 사고 발생시 공정의 손실 감소와 생산성 향상이라는 인식에서 출발하여 여러 정성적, 정량적 평가 방법에 의하여 수행되어 왔으며, 현재는 이러한 방법들을 이용한 공장 내/외 지역에

<sup>†</sup>E-mail: rexerniss@pslab.snu.ac.kr

대한 위험성 평가가 시행되고 있다. 위험성 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 기존의 위험성 평가 방법들은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.<sup>2,3)</sup>

**1.1 사고 발생 경로 혹은 과정의 파악**

기존의 위험성 평가 방법은 HAZOP(Hazard and Operability)이라는 방법론을 자동화하는 것을 목적으로 하고 있으므로 그 결과가 대개 HAZOP 테이블로 나오고 있다. 이것은 결국 자동화 대상 기법이 HAZOP에 국한되어 있다는 의미이며 HAZOP의 테이블 형태는 국부적인 변수 변이의 원인과 결과를 1차적, 2차적으로 파악하기에는 무리가 없으나 실제로 사고가 일어나는 경로나 과정을 파악할 수는 없다. 즉 근본적인 기능이상에 관한 고려를 하지 않기 때문에 이러한 문제로 인해 발생하는 사고는 위험성분석 과정에서 사전에 파악할 수가 없게 된다.

**1.2 위험발생요인의 다양성**

기존의 연구에서는 근본적으로 기능이상(malfunction)을 변수의 변이(variable deviation)와 같이 특정한 위험현과 요인으로 분류하고 있지 않기 때문에 위험의 발생을 고려(파라미터 선정)할 때 '변수의 변이' 혹은 '조업의 이상' 측면에서만 선정한다. 즉 '기능의 이상' 측면에서 시작하는 위험성분석은 빠져 있기 때문에 그만큼 사고로 발전할 가능성이 있는 위험들 중 놓치는 위험이 생기게 된다. 예를 들어 믹싱(mixing)이 일어나는 용기(settler) 안에 달려있는 임펠러(impeller)가 작아서 믹싱이 잘 되지 않아 반응물들이 두꺼운 덩어리(thick mass)를 형성하여 국부적 발열반응이 진행되어 용기의 폭발사고가 난 경우를 생각해 볼 때, 모델 상에 장치의 이상이 공정변수의 변이로 연결되는 경로(hierarchy)가 빠져있기 때문에 기존의 변수의 변이 혹은 조업의 이상에서 출발하는 알고리즘을 통해서는 '부적절한 임펠러 사이즈'라는 사고의 원인과 제시한 사고의 경로를 찾아내기가 힘들게 된다.

따라서 각 장치의 기능이상에 따른 변수 이상 및 변수 이상 전파에 관한 알고리즘 개발에 중점을 두고 정성적 위험성 방법과 정량적 위험성 방법을 통합하여 좀 더 체계적인 방법으로 실제 공정 내에서 가장 큰 위험영향을 보이는 사고의 시나리오를 구축할 수 있는 방법의 개발과 체계적으로 공정의 위험성을 관리하기

위해서는 위험성 분석 자동화소프트웨어(ASCA)의 개발이 필수적이다.<sup>4)</sup>

**2. 위험성 분석 자동화 소프트웨어(ASCA) 개발**

화학공장은 다른 어떤 공장보다 훨씬 위험성이 높으며 사고의 가능성도 크다. ASCA는 이러한 화학공장을 안전하고 체계적으로 관리를 할 수 있도록 도와주는 프로그램으로 다음의 Fig. 1과 같은 순서로 프로그램이 전개된다.

**2.1 PFD 작성**

처음 프로그램을 시작하고 위험분석을 실행하기 전에 공정의 PFD(Process Flow Diagram)를 작성한다. 이러한 PFD는 실제 도면보다 훨씬 단순화시킬 수 있으며 단순화시켜 알아보기 쉽게 표현할 수 있다. PFD는 프로그램 오른쪽의 Equipment Bar를 이용하여 PFD를 작성하는 창에 그릴 수 있으며 그려진 공정의 각 장치를 더블 클릭하면 각 장치에 대한 정보를 입력

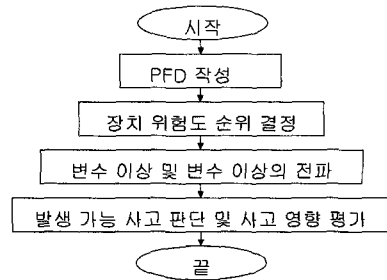


Fig. 1. Procedure of ASCA.

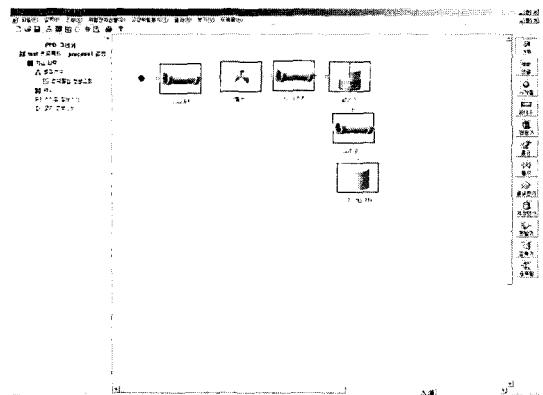


Fig. 2. Interface to draw PFD.

할 수 있다. 일단 그려진 공정의 모든 장치는 빨간색 태두리로 그려지게 된다. PFD를 그리는 인터페이스는 Fig. 2와 같다. ASCA에서 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 맞춤형대로 프로그램을 수정할 수 있다. PFD를 그릴 수 있는 인터페이스는 Fig. 2와 같다. 각 장치별로 사용자가 입력해야 할 사항은 장치이름, 물질의 상, 발열반응 혹은 흡열반응의 선택(반응기의 경우에만 해당됨), 가열 혹은 냉각의 선택(열교환기의 경우에만 해당됨), 공정 조업 온도, 공정 조업 압력, 저장량, 고장률, 장치 수명, 장치 설치 년도이다. 이상의 사항들이 장치 정보로 사용자에게 의해 입력을 받으며 다음의 Equipment Screening Algorithm, Hazard Analysis Algorithm, Accident Scenario Algorithm을 전개시키는 기반이 된다.

**2.2 장치의 위험도 순위 결정**

ASCA에서는 장치의 위험도 순위를 결정하기 위해 Equipment Screening Algorithm을 개발하고 공정 내에 존재하는 모든 장치들의 위험 가능성을 평가하는데 어느 장치가 가장 위험한지 다음과 같은 요소들을 중심으로 판단한다.<sup>13)</sup>

- 물질의 특성
- 질량 유량
- 조업 조건
  - 공정 조업 압력
  - 공정 조업 온도
- 고장률<sup>12)</sup>
- 장치 사용 기간

Equipment Screening Algorithm에서 물질의 특성은 물질의 끓는점, 인화점, NFPA 등급<sup>9,10)</sup>과 같은 특성들이 적용되며, 이러한 5가지 요소를 가지고 공정에 존재하는 장치의 위험성을 판단할 수 있고 어느 장치가 가장 위험한지를 알 수 있다.<sup>11)</sup> 이 다섯 가지 요소들은 모두 같은 비율로의 위험성을 가지는 것이 아니라 다른 잠재 위험성을 가지기 때문에 위의 순서대로 큰 잠재 위험성을 가진다. 이렇게 다섯 가지 요소들이 각각 계산된 후 모두 통합되어 하나의 위험도 점수로서 계산되며 장치의 위험도 순위가 결정된다. 이러한 장치의 순위는 공정내의 위험한 장치를 판단하는 기준이 될 수 있으며 위험한 장치를 우선적으로 위험관리를 수행할 수 있다.<sup>5)</sup>

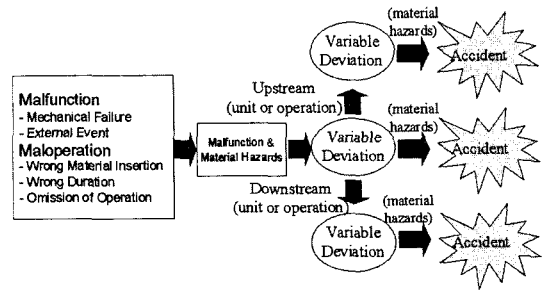


Fig. 3. The basic accident development path.

**2.3 변수 이상 및 변수 이상의 전파**

공정 내 장치의 이상과 그로 인한 변수 이상 그리고 그 이상의 전파를 알아보기 위해서 Hazard Analysis Algorithm을 개발하였다. 각 장치에서 일어날 수 있는 고장 및 오작동을 근본기능이상으로 간주하고 이러한 근본기능이상으로 발생하는 변수 이상과 변수 이상이 생긴 장치의 다음 장치로 변수 이상이 전파되는 결과를 분석해 볼 수 있다.<sup>2,3)</sup>

Hazard Analysis Algorithm의 대략적인 개요도는 Fig. 3과 같으며 Hazard Analysis Algorithm을 시행하기 전의 단계인 Equipment Screening Algorithm에서 계산된 각 장치들의 위험도 순위를 바탕으로 위험 잠재성이 큰 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 ASCA에서는 각 장치별로 장치특성에 따른 고장모드를 제시하고 있는데 각 장치에 따른 고장모드를 데이터베이스로 구성하고 있으며 각 장치의 고장모드는 현재 설정과 다르게 특정 공정에 따라 맞춤형대로 데이터베이스를 설계할 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 확인할 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 반응

기 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 PFD 상에 나타나게 함으로써 사용자가 변수의 이상이 어떻게 전파되는지 한눈에 알아 볼 수 있도록 한다.<sup>8,14)</sup>

## 2.4 발생 가능한 사고 판단 및 사고 영향 평가

발생 가능한 사고를 미리 파악하고 그 사고의 영향을 평가하기 위하여 Accident Scenario Algorithm을 개발하고 ASCA에 적용하였다. 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 나누어지며 세부적인 사고의 종류는 다음과 같다.

### <화재>

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

### <폭발>

- VCE(중기온 폭발)
- BLEVE(비등액체 팽창증기폭발)

사고 잠재성이 있는 사고를 미리 계산하고 그 중 사고 영향을 예측하고자 하는 사고만 선택하고 사고 영향 예측 계산을 실행한다. 사고 영향을 예측하기 위해서는 지면으로부터의 높이, 지름(반응기, 저장탱크의 경우만 해당함), 용기의 높이(반응기, 저장탱크의 경우만 해당함), 파이프 상단부의 수위(반응기, 저장탱크의 경우만 제외함), 파이프의 길이(반응기, 저장탱크의 경우만 제외함), 누출구멍 크기-직경, 바람속도, 대기안정도, 다이크 여부(있을 시에는 다이크 폭, 다이크 길이 입력), 시나리오 선택등의 정보가 필요하다. 여기서 시나리오 선택은 일어날 가능성이 있는 사고의 종류를 선택하는 것인데, 사용자가 미리 입력했던 사항들을 토대로 위에 언급되었던 5가지 사고 - PoolFire, JetFire,

FireBall, BLEVE, VCE -에 대해서 사고 잠재성이 있는 사고를 미리 계산하여 활성화시켜 놓고 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 생성되며, 폭발인 경우 즉, VCE, BLEVE인 경우는 그 사고의 거리 당 폭발 과압과 평면도에 대한 그래프가 생성된다.

## 3. 사례연구

### 3.1 공정개요

당 공정은 열분해성 가솔린(Pyrolysis Gasoline : 이하 PG)을 주원료로 하여 수소 첨가(Hydrotreating) 반응시켜 불순물(디올레핀, 올레핀, 황 화합물)을 제거하여 방향족 화합물과 비방향족 화합물을 추출 분리하여 최종적으로 벤젠, 톨루엔, 크실렌을 분리, 생산하는 공정이다. C5/C9+/Raffinate(C6-C8 비방향족)의 부산물을 처리하는 System으로 방향족 공정은 H.TU (Hydrotreating Unit), Extraction Unit, Fraction Unit, Hydrodealkylation Unit으로 구분된다. 이렇게 구분되는 공정 중에 H.TU에 대하여 ASCA를 적용하여 보았다. H.TU 공정은 디올레핀을 올레핀으로 수소 첨가 반응하는 1차 반응기 부분과 1차 반응기 생산물 중 C5 이하의 유분을 제거하는 탈펜탄 부분, C5유분이 제거된 올레핀을 파라핀으로 수소 첨가 반응하고 황 화합물을  $H_2S$ 로 전환시키고 안정된 상태의 FHT C6이상의 유분으로 전환시키는 2차 반응기 부분으로 나누어 지는데 이중 1차 반응기부분에 대하여 고려하였다. H.TU의 1차 반응기부분에 대한 상세한 공정 개요는 다음과 같다.

#### 3.1.1 원료 도입 단계

PG는 성분 중 C4 및 가벼운 성분은 반응성이 높기 때문에 R101의 온도 조건에 크게 영향을 미치므로 PG의 성분을 일정하게 유지하여야 한다. 도입되는 PG의 조성변화가 있을 경우에는 PG 탱크에 있는 성분을 적당량 희석하여 R101에 유입되는 PG의 조성변화를 최소화 한다.

#### 3.1.2 1차 수소 첨가 반응 단계

HTU Surge Drum(이하 D101)에서 PG FEED PUMP에 의해서 이송된 PG는 수소와 합쳐져서 P101의 상부로 유입된다. R101은 Two Bed로 이루어진 팔라듐 촉매 층에서 액상 반응에 의해 디올레핀과 알켄 방향족 물질이 수첨 반응된다. 이때 촉매 층의 과도한

온도상승을 막기 위해 촉매 층 사이로 냉각수가 주입되고 R101 유입부분으로 희석액이 주입된다. R101의 출구 부분은 1st Stage Hot Separator(D102)로 유입되어 기상 및 액상으로 분리되고, 기상 물질은 냉각된 후 1st Stage Cold Separator(D103)로 유입되어 기상 및 액상으로 재 분리된다. D103 Top의 기상 물질(수소가 다량 포함된 가벼운 성분)은 다음 공정의 수첨 반응에 재사용하고, D102/D103 하부의 액상 물질은 합쳐져서 일부는 R101의 냉각수 및 희석액으로 사용하고 나머지는 탈펜탄 단계로 유입된다.

3.1.3 1차 수소 첨가 반응 주요 공정

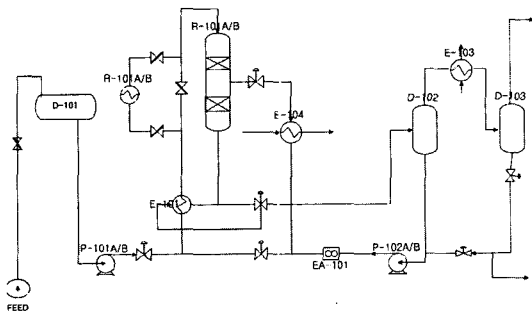


Fig. 4. PFD of H.T.U.

PG중 황 화합물을 제거하는데 300°C 이상의 고온이 요구되나 이 온도에서는 PG중에 포함되어 있는 디올레핀 및 알켄 방향족 물질이 고무질을 형성시켜 각 기기 및 파이프에 Fouling을 유발시킬 수 있으므로 R101에서는 고 선택성 촉매를 사용하여 비교적 저온에서 디올레핀을 올레핀으로 알켄 방향족 물질을 알킬 방향족 물질로 1차 수첨 반응시킨다.

이상이 H.T.U의 1차 반응기부분에 대한 상세한 공정 개요이며 이 공정의 공정도는 Fig. 4와 같으며 이를 ASCA에 적용한 공정도는 Fig. 5와 같다.

3.2 H.T.U공정의 위험 선별 및 분석을 위한 ASCA의 적용

Fig. 5와 같이 PFD를 작성한 후 장치정보를 입력하고 Equipment Screening Algorithm에 의해 위험장치를 선별 하고 나면 Fig. 6, 7과 같은 결과를 얻는다. 순위를 막대그래프로 나타냄으로써 위험장치를 훨씬 시각적으로 나타낼 수 있다. H.T.U공정에서는 증류탑, 펌프, 열교환기, 반응기 이런 순서로 잠재적인 위험성이 크며 잠재 위험성이 큰 순서로 계산되어 나온다. 이렇게 계산된 위험도 순위에 관한 테이블과 막대그래프 또한 볼 수 있다.

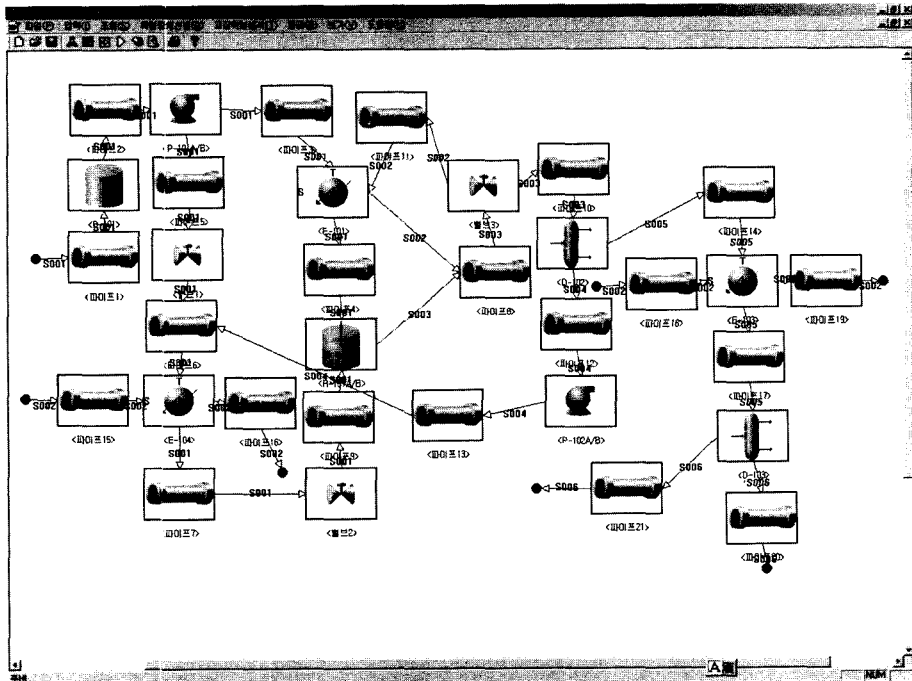


Fig. 5. PFD of H.T.U in ASCA.

장치 이름	장치 타입	위험도 순위	위험도 점수
D-102	중류탑	1	38.788
P-101A/B	펌프	2	33.114
E-104	열교환기-Shell	3	31.636
E-101	열교환기-튜브	4	31.401
P-101A/B	반정기	5	31.306
밸브2	밸브	6	31.243
E-103	열교환기-Shell	7	31.023
E-103	열교환기-Shell	8	30.975
파이프18	파이프	9	30.773
D-103	중류탑	10	29.957
밸브1	밸브	11	27.113
P-102A/B	펌프	12	26.889
E-103	열교환기-튜브	13	26.759
E-104	열교환기-Shell	14	26.262

Fig. 6. Result table of equipment screening.

장치 이름	장치 타입	중류	압력	온도	농도	유량	진동	장치 상태
D-101	저장탱크	25	●	▲	●	●	●	누출
P-101A/B	펌프	2	●	▲	●	●	●	누출
E-101	열교환기-튜브	4	●	▲	●	●	●	누출
E-101	열교환기-Shell	7	●	▲	●	●	●	누출
P-101A/B	반정기	5	▲	▲	▲	▲	▲	파괴/누출
파이프01	파이프	36	●	▲	●	●	●	누출
파이프02	파이프	31	●	▲	●	●	●	누출
파이프03	파이프	30	●	▲	●	●	●	누출
파이프04	파이프	17	●	▲	●	●	●	누출
파이프05	파이프	34	●	▲	●	●	●	누출
밸브01	밸브	11	●	▲	●	●	●	누출
파이프06	파이프	29	▲	▲	▲	▲	▲	누출
E-104	열교환기-튜브	14	▲	▲	▲	▲	▲	누출
E-104	열교환기-Shell	3	▲	▲	▲	▲	▲	누출
파이프07	파이프	32	▲	▲	▲	▲	▲	누출
파이프08	파이프	20	▲	▲	▲	▲	▲	누출
밸브02	밸브	5	▲	▲	▲	▲	▲	누출
파이프09	파이프	33	▲	▲	▲	▲	▲	누출
밸브03	밸브	16	▲	▲	▲	▲	▲	누출

Fig. 8. Result table of hazard analysis.

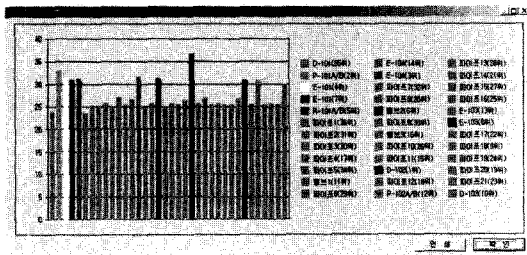


Fig. 7. Bar chart of result of equipment screening.

이렇게 잠재 위험성에 대한 순위를 정하고 나서 Hazard Analysis Algorithm에 의해 고장 위험 분석을 실행하게 된다. 위험 장치 선별 실행이 끝나고 나면 어떤 장치에서 고장이 발생했을 때 그 고장으로 인한 변수 이상이 어떻게 진행되는지를 알아본다. H.T.U 공정에서 D-101이라는 저장탱크에서 단일 실패로 온도 상

승이 일어난 경우 고장위험 분석을 실행해 보면, 고장 위험 분석의 결과로 변수이상의 전파과정은 변수이상 전파 리스트인 Fig. 8과 고장 위험 분석도인 Fig. 9로 나타난다. 고장 위험 분석도는 고장이 일어난 장치를 시작으로 하여 연결된 모든 장치의 변수이상을 인과관계를 통하여 한눈에 볼 수 있도록 해주기 때문에 변수이상을 분석하는데 큰 도움을 준다고 할 수 있다. 사례 연구에서 저장탱크의 온도 상승으로 이와 연결된 파이프, 펌프, 밸브 등을 지나가는 모든 유체의 온도는 정상 운전조건보다 상승된 상태로 운전되는 등 이 저장탱크와 연결된 모든 장치의 공정 변수들은 변수의 이상이 생겨나며 이는 전파되는 각 장치 내부의 유체가 기체인지 액체인지에 따라 다른 이상의 결과를 나타낸다. 이렇게 전파된 변수의 이상을 알아봄으로서 꼭 고장이 일어난 장치가 아니라 하더라도 사고의 위험을 갖고 있음을 알 수 있고 공정 변수의 이상을 발견할

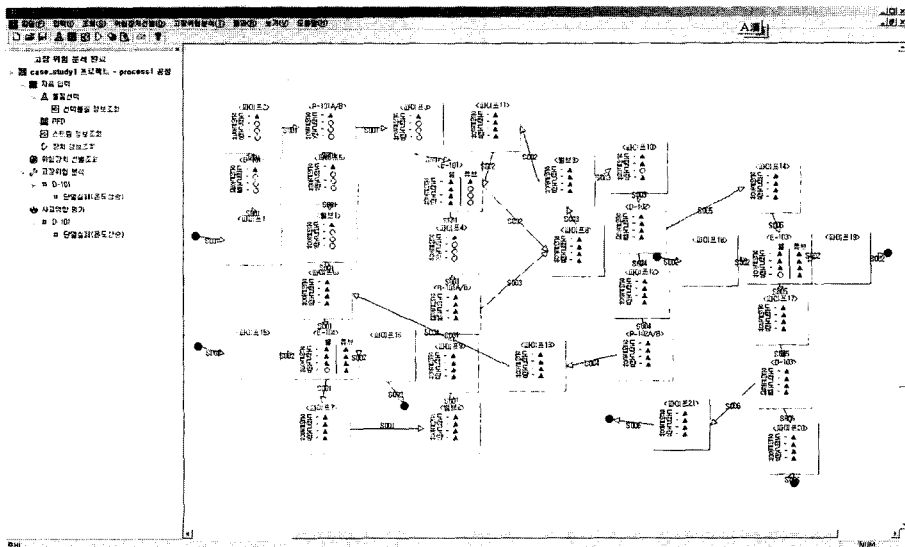


Fig. 9. Diagram of hazard analysis.

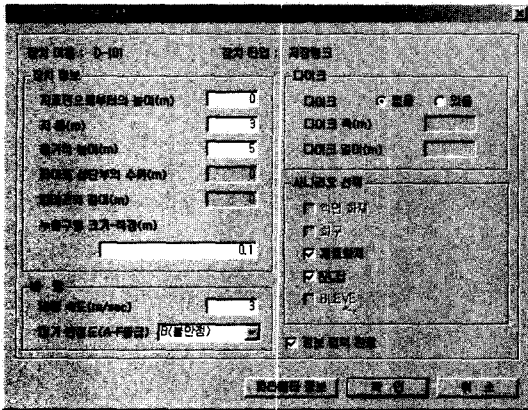


Fig. 10. Input window of additional information.

수 있으므로 공정 모니터링의 기초 분석 자료로도 적용될 수 있다. 고장위험분석을 실행한 후에는 고장이 일어난 장치에 대하여 변수이상으로 어떤 사고가 발생할 수 있는지 또한 그 사고의 영향이 어느 정도인지 알아본다.

사고 영향 평가는 정량적 위험성 평가 방법으로서 수치화된 결과를 보여주는데 변수 이상이 발생한 장치에서 발생 가능한 사고 형태를 추론하고 초기 입력한 정보 외에 사고 영향 평가를 실행하기 위해서 추가적인 입력을 필요로 한다.<sup>6)</sup> 이 때 입력창은 Fig. 10과 같으며 사례연구에서는 D-101이라는 저장탱크에서 누출로 인하여 일어날 수 있는 사고와 그 사고의 영향을 판단하여 본다. D-101에서 추론된 발생 가능한 사고는 제트화재와 VCE이고 이는 Fig. 10의 정보 입력창에서 시나리오 선택부분에 활성화 되어 있는 부분에 나타난다. 사고 영향 평가를 위한 추가 입력창을 입력하고 난 후의 사고영향평가 결과 그래프는 Fig. 11과 같이 나

타난다.

Fig. 11은 D-101에서 발생 가능한 사고 중 제트화재에 대한 영향을 제시하고 있으며 이는 사고가 일어난 장치 D-101에서 제트화재가 일어났을 때 정해진 복사열을 기준으로 사고 반경을 제시하고 있다. 근로자 또는 주변기기에 미치는 영향을 판단할 수 있는 기준이 되는 복사열은 사용자가 직접 정해줄 수 있으며 디폴트로 레벨1은  $4 \text{ kW/m}^2$  ( $1300 \text{ Btu/hr/ft}^2$ )의 복사열이 미치는 거리, 레벨2은  $12.5 \text{ kW/m}^2$  ( $4000 \text{ Btu/hr/ft}^2$ )의 복사열이 미치는 거리, 레벨3은  $37.5 \text{ kW/m}^2$  ( $11900 \text{ Btu/hr/ft}^2$ )의 복사열이 미치는 거리로 한다. D-101에서는 레벨1의 도달거리는 2 m, 레벨2의 도달거리는 15 m, 레벨3의 도달거리는 47미터로 계산된다.

#### 4. 결론 및 고찰

지금까지의 위험관리 방법들이나 S/W들은 정성적인 방법 또는 정량적인 방법 이렇게 나뉘어져 각각을 수행할 수밖에 없었으나 위험 선별 및 분석 통합 프로그램인 ASCA의 개발로 화학공정에서의 체계적인 관리가 쉽게 이루어질 수 있으며 정성적으로 빠르고 쉽게 잠재적인 위험요소를 찾아낼 수 있으며 그러한 잠재요소가 가져올 수 있는 사고의 종류와 사고의 영향을 정밀하게 알아볼 수 있는 정량적인 평가 또한 이루어질 수 있다. 위의 사례연구에서 볼 수 있듯이 실제 공정에 적용해 본 결과 잠재 위험성이 큰 장치들이 어느 것인지 쉽게 판단할 수 있었으며, 실제 일어날 수 있는 장치의 고장으로 인한 공정변수의 이상 및 이상의 전파를 시각적으로 볼 수 있었다. 또한 이러한 변수의 이상으로 인해 발생할 수 있는 사고를 예측하고 그 사고의 영향을 평가하여 미리 사고를 대비할 수 있는 기



Fig. 11. Diagram of result of accident consequence analysis.

준을 제시하였다. 이를 토대로 하여 ASCA에서는 다음과 같은 사항을 추가하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있을 것이다. 위험 장치 선별 과정에서는 현재 사고 완화 요소와 안전장치를 고려하고 있지 않으나 이를 고려하면 실제 공장에서 절대적인 위험요소 보다는 상대적인 위험요소를 고려할 수 있을 것이며 고장 위험 분석 과정에서는 현재의 고장모드보다 훨씬 다양한 고장모드를 적용하고 사고 분석 알고리즘을 업그레이드 하여 좀더 정확한 변수의 이상과 그 전과과정을 분석할 수 있을 것이다. 또한 사고 영향 평가 과정에서는 현재 화재와 폭발 부분만을 고려하고 있으나 확산과 독성물질의 영향 그리고 연쇄화재 및 폭발(Domino Effect)를 고려해 봄으로써 좀더 다양한 사고를 예측해 볼 수 있을 것이다. 지속적으로 ASCA의 전체 알고리즘을 업그레이드 하고 사용자 중심의 GUI(Graphical User Interface)를 개선한다면 상용 소프트웨어로도 부족함이 없을 것이다. ASCA는 화학공정의 초기 설계단계나 가동되고 있는 화학공정에 적용해 봄으로써 사고 시나리오를 세워볼 수 있으며 사고에 의한 비상상태를 대처할 수 있는 능력을 키울 수 있으며 사고 예방책을 마련할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 김구희, "화학공정의 가상사고 시나리오 합성에 기반한 위험성 평가 시스템", 박사학위논문, 서울대학교 응용화학부(2000).
2. 서정철, "화학공정의 안전성 분석을 위한 다중 모델 접근 방법", 박사학위논문, 서울대학교 화학공학과(1997).
3. 강병관, "다중모델 접근법에 기반한 회분식 공정의 위험성 분석 자동화에 관한 연구", 박사학위논문, 서울대학교 응용화학부(2001).
4. 강경욱, "다중모델 접근방법을 이용한 화학공정 안전성 자동분석기 개발에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대학교 화학공학과(1998).
5. 김구희, 이동연, 김용하, 안성준, 윤인섭, "화학공정 위험 영향 평가기술에서의 다중요소분석기법을 이용한 사고 시나리오 산정에 관한 전략", 한국화재·소방학회논문지, Vol. 15, No. 4(2001).
6. 김구희, 안성준, 윤인섭, "화학공정의 피해예측시스템 개발에 관한 연구", 한국화재·소방학회 추계학술대회 논문집, pp.333-337(2002).
7. Iri, M., K. Aoki, E. O'shima, and H. Matsuyama, "An Algorithm for Diagnosis of System Failures in the Chemical Process", Comput. Chem. Eng., Vol. 3, pp.489-493(1979).
8. Kramer, M. A. and B. L. Palowitch, Jr, "A Rule-Based Approach to Fault Diagnosis Using the Signed Directed Graph", AIChE J., Vol. 33, p1067 (1987b).
9. NFPA, "NFPA Code 325M Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids", National Fire Protection Association(1991a).
10. NFPA, "NFPA Code 49 Hazardous Chemical Data, National Fire Protection Association"(1991b).
11. Zerkani, H. and A. G. Rushton, "Computer Emulation of Hazard Identification", Proceedings of IFAC Workshop, pp.221(1992).
12. CCPS, "Guidelines for Process Equipment Reliability Data", AIChE(1989).
13. CCPS, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedure", AIChE(1985).
14. Hunt A., B. E. Kelly, J. S. Mullhi, F P. Lees, and A. G. Rushton, "The Propagation of Faults in Process Plants", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 39, No. 2, pp.173-194(1993).