

화학공정의 HAZOP 분석을 위한 전문가 시스템 개발

김 구 회 · 강 인 구* · 이 병 우 · 이 종 민 · 윤 인 섭

서울대학교 응용화학부

*LG 엔지니어링

(1999년 4월 28일 접수, 1999년 5월 20일 채택)

Development of the Expert System for Hazard and Operability Analysis in Chemical Processes

Ku Hwoi Kim, In Koo Kang*, Byung Woo Lee,
Jong Min Lee and En Sup Yoon

Division Of Chemical Eng., Seoul National Univ.

**Process Dept., LG Engineering Co., Ltd.*

(Received 28 April 1999 ; Accepted 20 May 1999)

요 약

본질적으로 안전한 공장은 체계적으로 잠재위험요소를 규명한 후 적절한 대처방안 모색을 통하여 유지할 수 있으며, 이를 위한 다양한 위험성 평가 방법론들이 개발되어 활용되고 있다. 최근에는 특히 전통적인 안전성평가방법의 단점을 극복하기 위해 전문가시스템을 도입함으로써 안전성평가방법을 자동화하려는 노력들이 시도되고 있다. 위험 및 운전성분석기법(HAZOP;Hazard and Operability Study)은 정성적인 평가방법 중에서 가장 체계적이고 논리적인 방법으로 인정받고 있다. 반면에 이러한 HAZOP 분석은 여러 인원이 동시에 시간을 내어 또 많은 시간을 투입하여야 하는 단점 및 참여한 엔지니어에 따라 그 결과의 차이가 날 수 있는 등 일관성 있는 평가결과를 얻기 어렵다는 단점이 있다. 이에 따라 전체적인 평가의 소요시간을 줄이며 일관적인 평가결과를 얻기 위한 위험성 평가의 자동화가 더욱 필요하다고 하겠다. 이에 본 연구에서는 HAZOP분석 과정을 자동화하기 위한 기반 구조를 제시하고, 이를 이용하여 전문가시스템도구를 통해 HAXSYM이라는 안전성 평가 시스템을 구현하였으며, 개발된 시스템의 유용성을 살펴보고자 사례연구를 수행하였다.

Abstract - Safe plants are maintained by the systematic identification of potential hazards. Various hazard evaluation methods have been developed in pursuit of safe plants. Recently, much efforts has been made for the automation of hazard evaluation system by introducing expert system to get rid of weak points of the conventional hazard evaluation methods.

HAZOP study is recognized as one of the most systematic and logical hazard evaluation methods. However, it has several disadvantages; experts should participate simultaneously, the detailed study is time-consuming, and the quality of the results largely depends on the quality of the experts. Therefore, the automation of HAZOP Study is highly beneficial for reducing the required time and obtaining the consistent evaluation results.

In this study, a framework for the automation of HAZOP study is suggested. Based on the suggested framework, HAXSYM, an expert system to automate HAZOP study,

has been developed. The case study validates the performance of the developed system, and the results are compared with the results from the conventional HAZOP study.

Key words : HAZOP study, hazard evaluation, expert system

1. 서론

정유 및 석유화학 공장에서의 사고의 특징은 개인적인 상해사고 뿐 아니라 화재, 폭발, 유독 물질 누출 등 중대사고로 발생할 수 있는 가능성이 높다는 점이며, 이는 곧 공장내에서의 인명 및 경제적 손실 뿐 아니라 주변지역의 환경 파괴 및 지역주민에 대한 직접적인 피해로 나타나게 된다는 점이다. 그러므로 화학공장에서의 사고를 예방하기 위해서는 잠재적인 사고 가능성 및 위험요소에 대한 사전분석 및 체계적인 예방대책의 수립이 매우 중요하다고 할 수 있다. 화학 공장에서의 안전성 확보를 위해서는 화학 공장에 대한 설계, 제작, 건설, 운전 및 유지, 보수와 공정 개선 과정 등 공장의 전체 수명 주기에 걸쳐서 정확하고 체계적인 자료의 축적, 분석 및 개선 활동들이 이루어져야 한다. 이러한 체계적인 잠재 위험 요소의 규명 및 대처 방안 모색을 통하여 본질적으로 안전한 공장을 유지할 수 있으며, 이를 위한 다양한 위험성 평가 방법론들이 개발되어 활용되고 있다. 본 연구에서는 위험성 평가 관련 경험 중심의 지식 체계를 전문가 시스템 내에 구축시킬 수 있는 방법론을 개발하였으며 체계적으로 설계단계에서 위험성 평가를 통하여 공정의 안전성을 확보하기 위한 기반 체계를 제시하였다.

이를 위하여 먼저 위험성 평가 방법론에 대한 분석, 검토와 설계 과정에서 고려되는 안전관련 사항들에 대한 분석이 수행되었으며, 이러한 방법론 및 축적된 경험 지식에 대한 분석은 본 연구서 제시된 방법론을 개발하는데 기반 체계가 되었다. 현재 위험성 평가 방법론 중 가장 활발히 적용되는 방법론인 위험 및 운전성(HAZOP) 분석 기법의 경우 정성적인 평가 방법 중에서 가장 체계적이고 논리적인 방법으로 인정받고 있다. 반면에 이러한 HAZOP 분석은 여러 인원이 동시에 시간을 내어 또 많은 시간을 투입하여야 하는 단점 및 참여한 인원에게 따라 그 결과에 차이가 날 수 있는 등 일관성 있는 평가 결과를 얻기 어렵다는 특성이 있다. 이에 따라 전체적인 평가의 소요 시간을 줄이며 일관적인 평가 결과를 얻기 위한 위험성 평가의 자동화가 더욱 필요하다.

2. 위험성평가방법론

위험성평가(Hazard Evaluation)란 화학공장 혹은 특정화학물질을 일정량 이상 보유하고 있는 시설물내에서의 위험요소를 규명한 후, 그 위험요소의 전파과정 및 시스템 차원의 차단능력 등을 종합적으로 판단한 후, 적절한 안전대응 장치 및 조치가 예비되어 있는지를 검토하는 과정이라 할 수 있다.[5] 현재 이용되고 있는 위험성 평가 방법에는 모두 12가지가 있다. 이 12가지 위험성평가방법은 공장수명주기 및 평가목적 등에 따라 적절한 방법론이 선택되게 된다. 이때 각 방법의 특성에 따라 분류하면 다음과 같다. 안전성 검토(Safety Review), 체크리스트 분석(Checklist Analysis), 상대적 위험등급(Relative Ranking), 예비 위험 분석(Preliminary Hazard Analysis, PHA), What-If 분석과 같은 평가 방법은 큰 공정이나 복잡한 공장의 내재한 위험을 주요 관점 중심으로 평가하는 경우에 효율적이다. 이러한 평가 방법들은 공장 건설을 시작하기 전에 실시함으로써 건설 후 안전성 향상을 위한 추가 비용의 절감을 가져오게 할 수 있다.

What-If/Checklist분석, HAZOP(Hazard and Operability) 분석, 이상 상태 및 영향 분석(FMEA; Failure Modes and Effects Analysis) 등은 공정의 설계 단계나 일상의 조업 시에 다양한 종류의 위험을 상세히 분석하는 경우에 매우 유용하다. 여기에서 얻은 결과는 이상 트리 분석과 같은 더 자세한 분석 방법의 기초 자료로 이용할 수 있다.

이상 트리 분석(Fault Tree Analysis), 사건 트리 분석(Event Tree Analysis), 원인-결과 분석(Cause-Consequence Analysis), 인간 신뢰도 분석(Human Reliability Analysis)의 방법은 관심의 대상인 특정한 위험 상황에 대하여 매우 자세한 분석이 요구될 경우에만 이용하는 것이 바람직하다. 이것은 위의 방법들이 관련된 특별한 지식 및 기술을 보유한 인력이 필요하며, 상대적으로 개괄적인 다른 방법에 비하여 매우 오랜 시간과 노력을 필요로 하기 때문이다.

3. HAZOP 분석법[6]

HAZOP 분석법은 1960년대부터 영국의 ICI에서 공정의 위험을 체계적으로 평가하기 위하여 활용되기 시작하였다([2], [3], [4], [5]). HAZOP 분석법은 새로운 설계나 기술의 평가에 적용되기 위해 이용되기 시작하였으나, 공정의 사용기간의 모든 과정에서 적용이 가능하다. 이 검토 방법은 다른 배경과 지식을 가지고 있는 여러 전문가들이 개인적으로 작업한 결과를 종합하는 경우보다는 한 곳에 모여서 회의를 통해 창조적이고 체계적인 상호작용을 거치는 것이 더 많은 문제를 발견할 수 있다는 원칙에 기본을 두고 있다.

HAZOP 분석법은 여러 분야를 담당하는 구성원들이 공정도와 필요에 따라서는 공정 절차(procedure)를 여러 번의 회의를 거치면서, 정상적인 설계 의도에서의 이탈로 인한 영향 및 영향의 중요도를 일정한 방식에 따라 평가하는 방식으로 수행된다. 한 사람이 HAZOP 검토와 같은 방식으로 위험성 평가를 수행하는 것이 가능하지만, 이렇게 수행된 검토는 HAZOP 분석이라고 하지 않는다. 이것은 HAZOP 검토의 경우에는 여러 분야의 인원의 참가가 필수적이기 때문이며, 따라서 다른 위험성 평가 방법과 HAZOP의 가장 큰 차이는 평가의 참여 인원에서 나타난다고 할 수 있다.

실제 HAZOP 분석법은 평가 전의 준비 단계, 실제 평가 수행 단계, 수행 후의 문서화 단계를 거쳐 수행된다. 평가 준비 단계에서는 검토의 목적, 목표, 범위를 정하고, 검토 인원을 구성한 후 필요한 자료를 수집하고, 회의를 준비하는 과정을 거친다. 실제 평가 수행단계는 Fig. 1과 같이 이루어진다. 검토 결과를 문서화할 때에는 모든 중요한 결과 및 제안 등이 빠짐없이 기록되도록 한다.

HAZOP 분석법은 공정이나 조업에서 study node라는 특정한 부분에 초점을 맞추는 방식으로 수행된다. 각 결절점에서는 미리 정해진 지시어(guide word)를 사용하여 이탈의 원인, 결과 및 그 조치사항 등을 팀의 지식과 경험을 이용하여 찾아 내게 된다. HAZOP검토에서 많이 사용되는 지시어는 다음과 같으며, 필요에 의하여 새로운 지시어를 만들 수 있다. 원칙적으로 각각의 지시어는 관련된 공정 변수(process parameter)와 결합하여 적절한 이상으로 구성되어 분석점에 적용된다. 다음은 지시어와 공정 변수를 이용하여 정상 상태로부터의 이탈 상황을 나타내는 예이다.

Guide Words	Parameter	Deviation
NO	+ FLOW	= NO FLOW
MORE	+ PRESSURE	= HIGH PRESSURE
AS WELL AS	+ ONE PHASE	= TWO PHASE
OTHER THAN	+ OPERATION	= MAINTENANCE

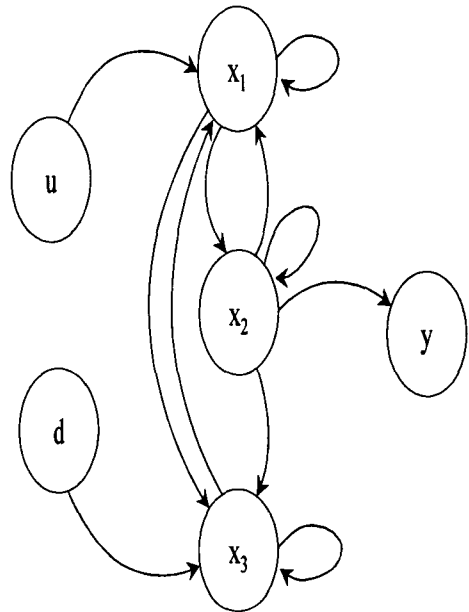


Fig. 1. Flowchart of HAZOP Study Procedure

일반적으로 HAZOP 평가의 진행 방법은 분석 중인 결절점에서의 모든 이상에서의 해결이 있는 후에 다음 부분의 분석이 수행되는 방식이므로 많은 시간이 필요하게 된다. HAZOP 분석의 성패는 대상 공정으로부터 중요한 영향력이 있는 인과 관계 및 그 피해 가능성을 평가하는 것으로서 크게 인적 피해, 환경 생태학적 피해, 경제적 피해 등으로 분류할 수 있다. 그러나 이러한 위험성 평가 분석법은 본질적으로 다음과 같은 5가지 한계점을 가지고 있게 된다.

- (1) 완결성(Completeness)
- (2) 재생성(Reproducibility)
- (3) 평가 불능성(Inscutability)
- (4) 경험 의존성(Relevance od Experience)
- (5) 주관성(Subjectivity)

그러므로 위험성 분석법이 가지는 이러한 본질적인 제약성을 극복할 수 있는 위험성 평가 전문가 시스템의 개발이 필요하다.

4. HAXSYM

본 연구에서는 다음의 사항들을 고려하여 HAZOP분석방법을 자동화한 위험성평가 자동화 시스템인 HAXSYM을 전문가시스템을 사용하여 개발하였다.

- (1) HAZOP 분석 과정에서 이론적인 모델 중심 보다는 실질적인 지식을 체계화 시킬 수 있어야 한다.
- (2) HAZOP worksheet에 포함되는 정보 중 문자적인 설명 부분을 생략하여 보다 이해하기 좋으며, 시스템의 지식 체계를 관리하기 편하게 한다.
- (3) 주로 현재 운전 중인 국내 석유화학 공장에 적용되어야 할 점을 고려하여, 심층 지식 체계에 대한 분석보다는 경험 중심적인 지식 체계의 효율적 구현에 주안점을 둔다.
- (4) 1단계로는 HAZOP 평가를 위해 필요한 최소한의 정형화된 체계 및 이를 지원할 수 있는 framework을 개발한다.
- (5) Checklist 등의 형태로 존재하는 위험성 평가를 위한 비정형화된 지식들에 대해서는 본 시스템의 구조를 개방형으로 하여 유연성을 부여한다.
- (6) 사용자는 전문가 시스템 도구에 비숙련자임을 고려하여 편리한 사용자 환경을 제공한다.
- (7) 본 시스템의 다음 응용 단계인 엔지니어링 지원 환경 시스템과의 연계를 위한 객체지향(object-oriented) framework의 구조를 유지하며 호환성을 고려하여 설계 및 개발 한다.

4.1. HAXSYM의 구조

전반적인 평가절차는 다음과 같다. 먼저 장치의 이상이 발생할 수 있는 경우를 고려한 후, 다른 공정 유닛과 물질 흐름에의 영향을 평가한다. 원인과 결과와의 관계는 장치의 이상거동에 따른 영향 평가를 통해 결정할 수 있다. 장치의 이상거동에 따른 영향평가의 결과는 지식베이스의 기초자료로 활용된다. 장치의 이상거동에 따른 영향평가 방법은 하드웨어적 고장 뿐 아니라 공정내에서 발생할 수 있는 모든 종류의 이상을 다룬다. 따라서 오조작을 포함한 여러 가지 이상의 원인들을 포함하는 적절한 공정 지식이 반드시 포함되어야 한다. 지식베이스로부터의 추론 결과는 HAZOP 분석에 사용한다.

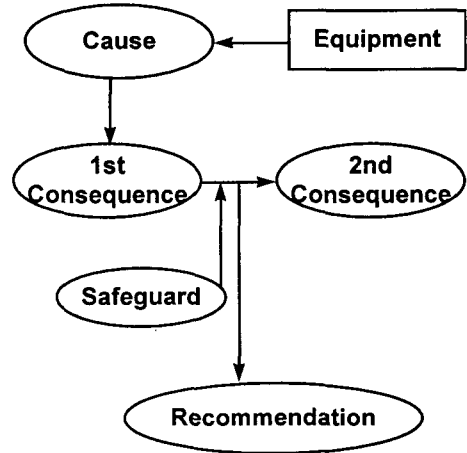


Fig. 2. Inference Flow

사고원인이란 공정 및 단위 장치 중에서 발생할 수 있는 최초의 사건으로서 크게 다음의 세 가지로 분류될 수 있다.

- 장치 고장 (equipment failure)
- 인적 오류 (human error)
- 외부 원인 (external event)

이때 사고 원인을 크게 두 단계로 구분한다.

- First cause : 위험성 분석의 주요 판단 기준이 되는 비정상적인 현상
- Second cause : 1st cause를 야기시키는 세부적인 장치의 고장 및 비정상 상태

한편 사고 원인으로부터 HAZOP분석 과정을 거쳐 유도되는 결과는 사고 결과로 정의하며 다음과 같이 2단계로 구분한다.

- (1) Primary consequence : 2nd consequence를 야기 시키게 되며, 검토 대상이 되는 주요 결과
- (2) Secondary consequence : 공정 중에서 발생할 수 있는 화재, 폭발, 유독 물질 누출 및 긴급 조업 중지와 같은 주요 재해의 형태

Primary consequence와 Secondary consequence 사이를 연결하는 사상수 상에서 중간 단계를 차단할 수 있는 각종 안전 장치 혹은 작업자 활동이 있게 되는데, 이들 장치 및 활동으로부터 safety guard의 존재 및 recommendation이 유도될 수 있다.

4.2. HAZOP분석에서 원인(cause)의 도출

공정 내에 존재하는 장치 및 물질의 특성으로부터 대상 장치 및 배관으로부터 발생할 수 있는 가능한 이상 상태의 원인을 체계적으로 제시하기 위해서는 지시어, 변수, 장치의 3가지 집합간의 관계성으로부터 일정한 모델을 추출할 수 있어야 한다. 현재 이들 집합 간의 관계성은 대체적으로 장치로부터 유도되는데, 이때 이들간의 관계성에는 일반적 성질(general characteristics)과 특별한 성질(specific characteristics)로 나뉘어지게 된다.

한편 분석 대상인 장치로부터 유도되는 일반적 및 특별한 GW(GuideWord)+ PA(Parameter)로부터 CA(Cause)가 유도되는데, 이때 고려되는 요소 들은 다음과 같다.

- (1) 상부 계통에 위치한 장치의 종류
- (2) 하부 계통에 위치한 장치의 종류
- (3) 장치에서 발생하는 급속히 진행되는 물리적인 고장의 형태들
(rupture, blockage, maintenance error, electrical failure(all-device))
- (4) 장치에서 발생하는 서서히 진행되는 물리적인 이상의 형태들
(leak, gradual blockage, fouling)
- (5) 기타 계통에 위치한 설비(Device)의 종류
(relief valve)
- (6) 외부 현상(external phenomena)
(external heat source, external collision)

여기서 기타 계통이라 하면 relief system, electrical system, drainage system 등이 포함되게 된다.

이러한 Cause의 유도 과정에서 Cause의 전개 과정은 다시 1차와 2차 원인 체계로 구분하여, 1차 원인은 주요 장치에서의 현상 및 이상 상황을 그리고 2차 원인은 각 장치에서의 1차 원인을 유도 시킬 수 있는 개별적인 Cause를 나타내게 된다.

4.3. HAZOP분석에서 결과(consequence)의 도출

HAZOP분석에서 Consequence의 유도 과정의 핵심은 유도될 수 있는 많은 Consequence중에서 중요한 Consequence에의 집중 능력이다. 먼저 제시된GW-PA-CA로부터 유도될 수 있는 Consequence의 특성을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 자체 장치에서 발생하는 Consequence
- (2) 상부 계통에 위치한 장치에서의 Consequence
- (3) 하부 계통에 위치한 장치에서의 Consequence
- (4) 기타 계통에서 발생하는 Consequence

한편 이들 Consequence들은 Consequence의 시간의 흐름 및 진행 정도 그리고 주요 안전 기능(Safety Function)의 작동 여부에 따라 Consequence가 변화하게 되며, 이러한 표현의 전형적인 예를 사상수에서 찾아볼 수 있다.

공정 내에 존재하는 안전 기능의 종류는 다양하므로 한가지 Cause로부터 유도될 수 있는 Consequence의 체계는 혼란스러울 수 있으나, HAZOP의 본질적인 목적인 위험 및 조업성 문제의 해석에 관점을 집중하여 1st consequence와 2nd consequence로 구분하면 다음과 같다.

- 1st consequence : 2nd consequence를 유도시킬 수 있는 release, pressure build-up 등의 현상
- 2nd consequence : fire, explosion, toxic release, abnormal shutdown등.

4.4. HAXSYM의 구현

HAZOP 자동화 시스템 HAXSYM의 구조는 작업의 최상위에 Root라는 작업 영역(workspace)이 있으며, 이 이하에 Basic-Definition, Unit-Information, Rule-Information, Procedures, Schematics의 작업 영역들이 존재한다. 이러한 작업 영역들은 모두 작업 영역들의 자체 내에서 계급적 구조(hierarchy)를 가지며 위치한다.

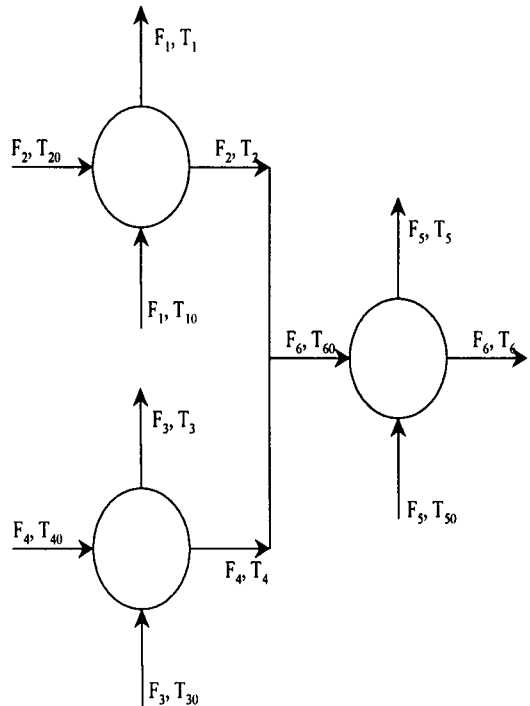


Fig. 3. Overall Structure of HAXSYM

4.4.1 Basic Definition

Process Parameter, Guide words, Definitions of Cause and Consequence의 작업영역들이 존재하는 영역으로 공정요소간의 흐름의 특성을 의미하는 객체인 Process Parameter, 이상상태를 구성하는 _NO_, _LESS_, _MORE_, _REVERSE_와 정상상태인 _NORMAL_로 구성된 Guide Words 객체와 이상상태의 원인과 결과를 정의하는 Cause와 Consequence라는 객체로 구성되어 있다.

4.4.2 Unit Information

Unit Information에는 공정 요소인 Equipment와 공정 요소 간의 물질 흐름을 의미하는 Stream이 정의된다. Equipment는 vessel, 열교환기, 증류탑 등의 Stationary Equipment와 펌프와 같은 Rotating Equipment의 두 가지로 구별된다. Junction-Block-for-Stream은 Stream간의 연결 또는 분리되는 연결 부분을 정의하는 객체이다.

4.4.3 Rule Information

Rule Information에는 위험성 평가를 수행하기 위한 절차가 각 공정 요소별로 구분되어 포함되어 있다. 여기에는 이 다음에 언급할 Procedures 작업 영역의 절차들을 수행하기 위한 내용이 포함된다.

4.4.4 Procedure

Propagation-Procedures는 공정 요소의 조업상태(operation mode)의 변화, 또는 공정 요소에 이상이 발생하였을 경우에 Stream에 나타나는 이상 상태를 표현하기 위한 절차이다. 이 절차들은 _pump(), _valve() 등의 절차들을 상황에 따라 추가의 절차를 수행하는 방식으로 구성된다. 각각의 절차는 기본적으로 규칙 기반 방식을 채택하였으며, 따라서 If-Then의 형태로 나타난다. _pump() 절차의 구조는 Fig. 3과 같다.

HAXSYM의 추론 절차는 각 공정 요소에 대한 Propagation-Procedures와 Procedures for Causes and Consequences, 그리고 평가를 위한 General Procedure를 통해 이루어진다.

Propagation-Procedures는 공정 요소의 조업상태(operation mode)의 변화, 또는 공정 요소에 이상이 발생하였을 경우에 Stream에 나타나는 이상 상태를 표현하기 위한 절차이다. 이 절차들은 _pump(), _valve() 등의 절차들을 상황에 따라 추가의 절차를 수행하는 방식으로 구성된다. 각각의 절차는 기본적으로 규칙 기반 방식을 채택하였으며, 따라서 If-Then의 형태로 나타난다.

Procedures for Causes and Consequences의 내용은 공정 요소의 이상에 대한 원인과 결과의 지식을 포함하는 절차들이다. 또한 여기에는 공정 요소의 안전에 관련된 지식이 저장되는 부분이다.

먼저 평가하고자 하는 Equipment의 속성으로

존재하는 Parameter에 적절한 Guide Word가 대응하게 되고, 이에 해당하는 절차가 수행되어 원인과 결과가 각각 추가되게 된다. 이때 평가에 앞서서 공정 요소가 연결된 Stream이 없이 단독으로 존재하는 등의 필요없는 공정 요소에 대한 처리를 막기 위하여 먼저 각 공정 요소로 연결된 Stream이 있는가를 검사하여 둘 중 한 쪽이 존재하는 경우에만 절차가 수행된다.

또한 예를 들어 공정 요소의 전면에 밸브가 없는 경우에도 밸브가 잠겼다는 원인을 제공하는 등의 쓸모없는 해를 제거하기 위하여 공정 요소의 입구 부분에 연결되어 있는 공정 요소를 검사한다. 예를 들어 펌프로 들어오는 Stream의 flow가 _NO_인 경우에 수행되는 절차인 pump-no-flow-cause의 내용을 보면 다음과 같다.

General Procedures는 Schematics에 표현된 공정 요소의 위험성 평가를 수행하기 위하여 필요한 절차들이다. 즉 각 공정 요소의 발생 가능한 원인을 탐색하도록 절차를 수행하는 역할을 한다. Schematics는 사용자가 주로 작업을 수행하게 되는 영역으로 작업을 위한 공정도를 표시하는 작업영역이다. 공정도는 전문가시스템 도구에서 제공하는 사용자 인터페이스를 이용하여 작성하며, Schematics의 내용은 대상공정에서의 공정요소를 도식적으로 표현한 것이다. 사용자가 입력한 각 공정요소의 상태를 이용하여 각 공정요소간의 Stream 상태가 결정된다. 공정요소의 상태와 Stream의 상태의 두 자료는 위험성 평가에 대한 지식베이스의 검색을 통하여 위험성 평가의 결과를 제공하는 기초자료로서 이용된다.

5. 사례연구

본 연구에서는 첫번째 사례 연구로 HAZOP분석 결과가 문헌에 공개되었고 또한 자동화 과정의 예제로써 인용되어 온 올레핀 이량체화 공정(Olefin Dimerization Plant)의 원료 공급 부분을 선정하였으며 이 사례 연구를 통하여 이제까지의 HAZOP분석 방법과 자동화된 HAXSYM을 통한 검토 결과를 비교 하였다. HAXSYM의 HAZOP분석 결과와 기존의 방법으로 HAZOP분석팀이 수행한 결과를 비교하여 나타내었다. HAXSYM의 분석 결과는 일반적인 위험의 원인 요소들과 그 결과들을 기존의 HAZOP 분석팀의 검토 결과 보다 더 상세히 나열하고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 HAZOP분석 방법 자체의 체계적인 접근 방법으로 지식이 구현되는 것에 기인한다고 할 수 있다.

HAZOP분석 팀은 일반적인 유량, 온도, 압력들의 공정 이탈이 아닌 공정 특성에 관련된 사항의 이탈 과정과 maintenance등의 경우의 이탈에 대하여 분석 결과를 나타내었는데 이는 HAxSYM의 분석 결과에는 검토되지 않은 사항이다. HAZOP분석의 지식은 일반적인 사항과

공정마다의 특성을 고려하여 관련된 지식으로 구별하여 일반적인 사항은 규칙 기반 형태의 지식구별으로 HAxSYM에 입력되어 구현되며 공정 특성과 관련된 지식들은 이를 수용할 수 있는 지식 전달 과정을 통하여 관련 위험 원인, 결과들이 확인될 수 있다.

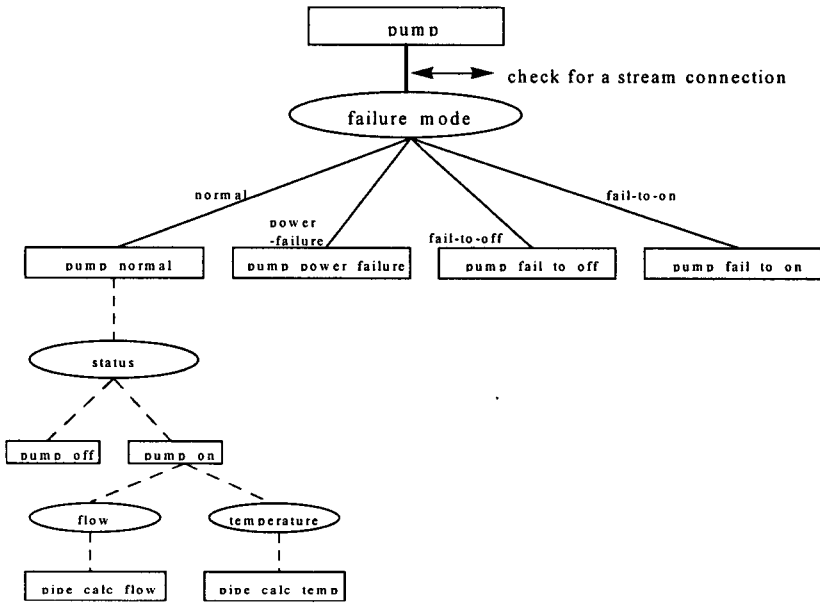


Fig. 4. Structure of Propagation Procedure _pump()

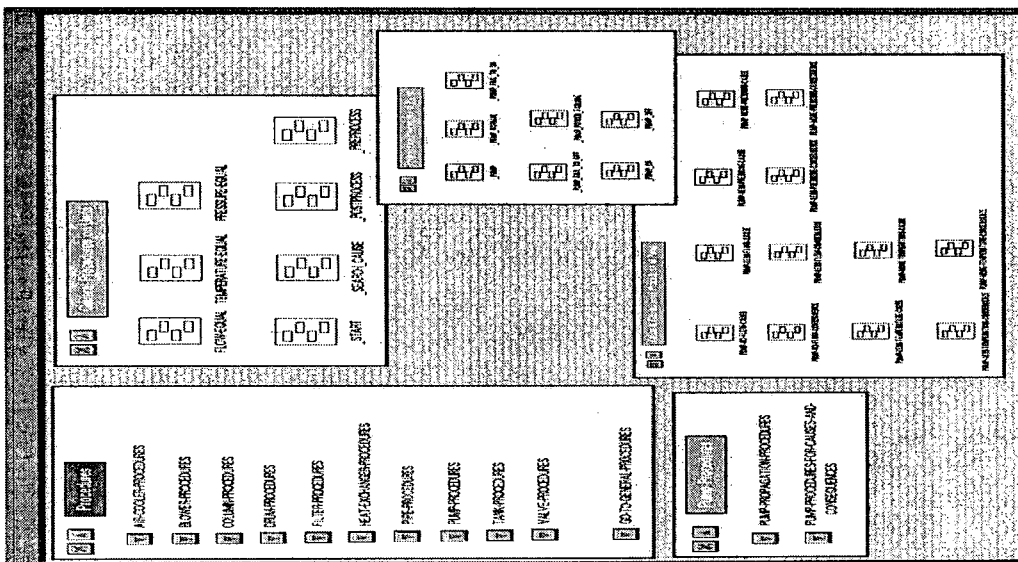


Fig. 5. Procedures

Table 1. Procedure Pump-No-Flow-Cause

```

Pump-no-flow-cause(P: class pump)
begin
  insert "seal failure" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "power failure" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "loss of NPSH" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "suction plugged" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "leak (major)" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "discharge line blocked" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "rotation fault" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "impeller fault" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "cavitation" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "lube oil system fail" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "standby fail on demand" at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  insert "low boiling point material or gassy material" at the end of the text list
  pump-no-flow-1st-cause;
  if there exists a tank connected at an input of P then insert "no level in suction drum"
  at the end of the text list pump-no-flow-1st-cause;
  if there exists a valve connected at an input of P or there exists a control-valve
  connected at an input of P then insert "valve closed" at the end of the text
  list pump-no-flow-1st-cause
end
    
```

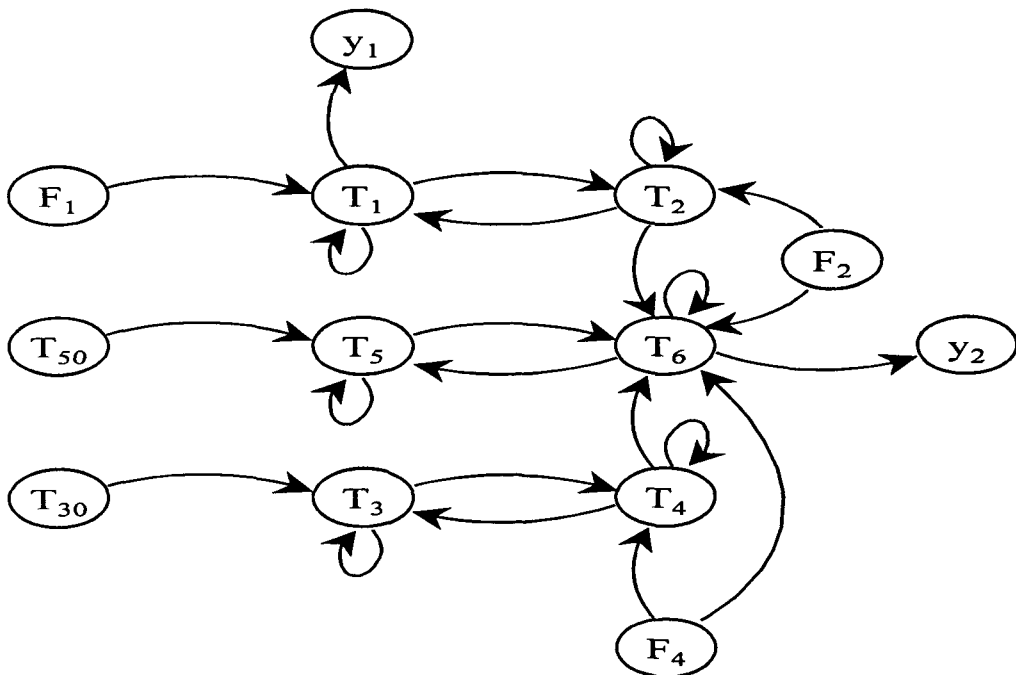


Fig. 6. GUI of HAXSYM for Case Study

Table 2. Conventional HAZOP Study of Case Study

NODE 1: Feed to buffer/settling tank		HAZOP STUDY RESULTS		
Water Separator System as a Case Study 1 by Conventional HAZOP Study				
ITEM	DEVIATION	CAUSE	CONSEQUENCE	RECOMMENDATION
	No flow	No hydrocarbon at intermediate storage	Loss of feed to reaction section and reduced output Polymer formed in heat exchanger under no flow	
		Pump fails (motor fault, loss of drive, impeller corroded away)	Pump overheats	
		Line blockage, isolation valve closed in error or LCV fails shut	Hydrocarbon discharged into area to public highway	
		Line fracture		
	More flow	LCV fails open or LCV bypass open in error	Settling tank overfills Incomplete separation of water phase in tank, leading to problems in reaction section	
	Less flow	Leaking flange or valved stub not blanked and leaking	Material loss adjacent to public highway	
	More pressure	Isolation valve closed in error or LCV closes, with pump running	Transfer line subjected to full pump or surge pressure	
		Thermal expansion in an isolated valved section due to fire or strong sunlight	Line fracture or flange leak	
	Less pressure			
	More temperature	High intermediate storage temperature	Higher pressure in transfer line and settling tank	

6. 결론 및 제안

본 연구에서는 화학 공장에서의 위험성 평가를 지원할 수 있는 자동화 시스템인 HAXSYM의 기반 구조 모델을 개발하여, 전문가 시스템 도구인 G2상에서 시스템이 구현되었으며 사례 연구가 수행되었다. 이를 위해 다음과 같은 세부 과제가 진행되었다.

- (1) 기존 위험성 평가론에 대한 심층 분석을 수행하여 실질적으로 위험성 평가 자동화 연구가 필요하면서 기술적으로도 가능한 부분에 대해 연구를 수행하였다.
- (2) 설계 단계에서 검토되는 위험성 및 조업성 지식에 대한 체계화가 수행되었다.
- (3) 본 연구의 주대상인 HAZOP분석에 대한 특성 분석 결과 수작업과 자동화 작업 간의 효율적인 연계 과정에 대한 전략적인 방안을 수립하였다.

- (4) 위험성 평가 전문가 시스템으로 개발될 부분에 대한 전체 시스템 구조 및 지식 체계 모델을 제시하였다.
- (5) 전문가 시스템 도구인 G2에 대한 적절성 분석 및 위험성 평가 자동화 시스템 개발을 위한 프로그래밍 기법이 개발되었다.
- (6) G2를 사용하여 시스템을 구현하여 프로토타입 시스템이 개발되었다.
- (7) 개발된 시스템을 사용하여 사례 연구를 통하여 적용성 및 유용성을 확인할 수 있었다.

개발된 방법론은 HAZOP분석 과정을 전문가 시스템의 한 방법론인 객체 지향 기반 구조 및 규칙 기반 시스템의 경험적 추론 방법을 이용하여 지식 체계를 표현하였으며, 적절한 추론 과정을 거쳐 기존에는 수작업으로 진행되던 위험성 평가 절차가 자동화 될 수 있음을 보였다. 특히 사례 연구를 통해 수작업으로 진행되던

결과와 비교함으로써 개발된 시스템의 성능을 평가할 수 있었으며, 본 연구 방법론의 적용성 및 타당성을 확인하였다.

최근 안전에 대한 관심이 높아질 뿐 아니라, 그 평가를 법제화 하여 공장 설계 및 운전적 적용토록 하고 있는 상황이므로, 이러한 과정을 지원할 수 있는 본 연구의 자동화 시스템의 개발은 평가 결과의 일관성 및 신뢰성 향상에 도움을 줄 수 있을 것이다. 본 연구의 결과는 궁극적으로 전체 설계 단계 중 HAZOP분석 단계에서 사용되는 관련 데이터 및 자료들이 설계 데이터 뱅크와 연결되어 사용될 수 있는 연결 구조가 되어 엔지니어링 지원 시스템 내에서의 HAZOP분석의 자동화가 가능하게 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. AICHE, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 2nd ed., AICHE, New York (1992).
2. Isermann, R., "Process Fault Detection Based on Modeling and Estimation Methods-A Survey", *Automatica*, 20, 387-404(1984).
3. Kuiper, B., "Qualitative Reasoning: Modeling and Simulation with Incomplete Knowledge", *Automatica*, 25, 571-585(1989).
4. Mavrovouniotis, M.L. and G. Stephanopoulos, "Formal Order-of-Magnitude Reasoning in Process Engineering", *Computers Chem. Engng.*, 12(9/10), 867(1988).
5. Ozog, H., "Hazard Identification, Analysis and Control", *Chemical Engineering*, 161(Feb. 18, 1985).
6. Drake. E.M., C.W.Thurston, "A Safety Evaluation Framework for Process Hazards Management in Chemical Facilities with PSE-Based Control", *Process Safety Progress*, 92-103(April, 1994).
7. Goyal, R.K., "Part2 Understand Quantitative Risk Assessment", *Hydrocarbon Processing*, 1, 95-99(1995).