

위험성 분석에서의 다중모델을 이용한 자동화 시스템의 개발

강경욱 · 강병관 · 서정철* · 윤인섭

서울대학교 화학공학과

*공군사관학교 화학과

(1997년 10월 30일 접수, 1997년 11월 25일 채택)

The development of automatic system using multimodel in hazard analysis

Kyung Wook Kang, Byung Kwan Kang, Jung Chul Suh* and En Sup Yoon

Dept. of Chem. Eng., Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

**Dept. of Chemistry Korea Air Force Academy, Chungbuk 363-849, Korea*

(Received 30 October 1997; accepted 25 November 1997)

요 약

화학공장에는 수많은 장치들이 있고 매우 복잡한 구조를 가지고 있다. 이러한 화학공장은 장치집약적인 특징으로 인해 항상 장치의 고장 또는 조업자의 실수로 인한 사고가 일어날 가능성을 안고 있다. 따라서 화학공정에서의 사고를 예방하고 안전을 확보하기 위해서는 잠재적인 사고 가능성 및 위험요인을 사전에 분석하고 예방하는 것이 중요하다. HAZOP 분석은 정성적인 평가 방법 중 가장 체계적이고 논리적인 방법으로 평가받고 있다. 이러한 HAZOP 분석과 같은 안정성 평가를 위해서는 많은 인력, 자원, 시간이 필요하다. 따라서 전문가의 인력과 시간을 줄이며 일관된 결과를 얻기 위해 위험성 평가의 자동화가 요구된다. 그리고 자동화를 위한 여러 연구와 방법론이 있었으나 나름대로의 한계가 있었다. 본 연구에서는 기존 방법론의 한계를 극복하기 위해서 화학공정의 안정성 분석 자동화 시스템을 구축하고자 한다. 이를 위해 일반적인 위험성 평가에 필요한 지식을 모델링한 다중모델 접근방법을 사용하여 물질지식베이스, 구조지식베이스, 장치지식베이스로 구분하여 모델링 하였고, 안전성 분석을 수행하는 세가지의 추론 알고리즘 Deviation Analysis Algorithm, Malfunction Analysis Algorithm, Accident Analysis Algorithm을 개발하여 화학공정의 안정성 분석 자동화 시스템 AHA(Automated Hazard Analyzer)를 구축하였다. 이것은 전문가 개발 도구인 G2를 이용하여 구축하였고, 제안된 시스템을 Olefin dimerization 공정의 feed section에 적용하여 유용성을 확인하였다.

Abstract - There are many kinds of complicated equipments in the chemical plants. So the chemical plants have high possibility of accidents. Hazard analysis is one of the basic tasks to ensure the safety of chemical plants. However, it has many shortcomings. To overcome the problems, there have been attempts to automate this work by utilizing computer technology, particularly knowledge-based technique. However, many of the past approaches are lacking in properties: safeguard consideration, accident diversity, cause and consequence diversity, pathway leading to accidents, and various hazard analysis reasoning. Therefore, in this study, three analysis algorithms were proposed using multimodel approach, and a hazard analysis system, AHA, was developed on G2. The case study was solved with AHA system successfully.

Key Words : Automated Hazard Analysis, Multimodel, Analysis Algorithm

1. 서 론

화학공장에는 수많은 장치들이 있고 매우 복잡한 구조를 가지고 있다. 이러한 화학공장은 장치집약적인 특징으로 인해 항상 장치의 고장 또는 조업자의 실수로 인한 사고가 일어날 가능성을 안고 있다. 또한 화학공장은 여러 가지 위험한 물리적, 화학적 특성을 가진 물질을 다루고 운전상태가 고온, 고압의 가능성이 크므로 이러한 곳에서의 사고의 특징은 개인적인 상해뿐 아니라 화재, 폭발, 유독 물질 누출 등 대형 사고로 일어날 수 있고, 이는 공장내 뿐 아니라 주변지역과 지역주민에 대해서도 직접, 간접적인 피해를 입히게 된다. 따라서 화학 공정에서의 사고를 예방하고 안전을 확보하기 위해서는 잠재적인 사고 가능성 및 위험요인을 사전에 분석하고 예방하는 것이 중요하다. 공장에서 안전성을 확보하기 위한 노력은 설계 단계에서부터 시작하여 조업 단계, 공정의 변경 단계등 공정의 전체 수명 주기 동안 진행되고 있다.

이를 위한 활동들로는 온라인 이상 진단(on-line fault diagnosis)과 오프라인 위험성 평가(off-line hazard analysis)가 있다. 온라인 이상 진단은 공정에서 발생한 이상이 사고로 발전하는 것을 예방하는 것이 목적이고 오프라인 위험성 평가는 공장의 설계 단계나 기존 공정에 변화가 있는 경우에 수행하게 된다. 위험성 평가는 이상 진단에 비해 이상의 원인(fault, symptom, deviation)뿐 아니라 결과(consequence)까지 알아내게 된다. 또한 본질적으로 안전한 공장을 확보하기 위한 설계 변경등을 알 수 있기 때문에 중요하다. 화학공장의 잠재 위험요소를 알아내기 위한 다양한 위험성 분석 기법들이 고안되어 사용되어 왔다. 대표적인 것으로는 Hazard and Operability Study(HAZOP), Failure Mode and Effects Analysis(FMEA), What-if Analysis, Checklists, Preliminary Hazard Analysis(PHA)등이 있다. 이중에서도 HAZOP 분석은 정성적인 평가 방법 중 가장 체계적이고 논리적인 방법으로 평가받고 있다. 이러한 HAZOP 분석과 같은 안전성 평가를 위해서는 많은 인력, 자원, 시간이 필요하다. 따라서 전문가의 인력과 시간을 줄이며 일관된 결과를 얻기 위해 위험성 평가의 자동화가 요구된다.

기존에 제시된 위험성 평가 자동화 시스템들은 안전성 분석을 위한 모델링의 한계로 인해 공정에 장치되어 있는 안전 장치들을 고려하지 못하거나 고려하기 어렵게 되어있다. 그리고 화학 공장의 위험요소는 고온, 고압 같은 물리적 위험요소(physical hazards)와 물질의 특성, 폭발성, 인화성 등의 화학적 위험요소(chemical

hazards)로 분류할 수 있는데 지금까지 제안된 시스템들은 대개 물리적 위험요소를 알아내는데 국한되어있다. 또한 공정의 잠재 사고를 관리하기 위해서는 단순히 사고의 원인과 결과를 알아내는 것보다는 근본 기능 이상에서 실제 사고에 이르는 모든 경로를 알아내야 체계적인 대비가 가능하다. 그러나 기존의 시스템들은 단순히 변수 이탈의 원인과 결과만을 제시해주기 때문에 사고의 중간 과정을 알기 어렵다. 기존의 시스템들은 자동화의 대상이 HAZOP 방법론에 국한되어있고 주어진 변수 이탈에서 추론을 시작하거나, 이상(fault)을 가정하여 위험요소를 알아낸다. 그러나 이 두 가지를 서로 보완하면 좀 더 나은 안전성 분석 결과를 얻게 될 것이다.

본 연구에서는 이러한 기존 방법론의 한계를 극복하기 위해서 일반적인 위험성 평가에 필요한 지식을 모델링한 다중모델 접근방법을 사용하였으며, 사고의 메카니즘을 분석하고, 이를 바탕으로 안전성 분석을 수행하는 추론 알고리즘을 개발하여 화학공정의 안전성 분석 자동화 시스템을 구축하고자 한다.

2. 다중 모델 접근 방법

공정을 모델링하는 여러 가지 방법 중에서 위험성 평가를 하기 위해서는 공정에 존재하는 위험요소와 사고요소들에 초점을 맞추어 모델링하여야 한다. 이러한 이유로 위험성 평가에 적합한 모델링으로서는 다중 모델 접근 방법을 사용하였다. 다중 모델 접근 방법이란 공정을 구조지식베이스, 물질지식베이스, 장치지식베이스로 나누어 모델링하는 것이다.[3, 4]

이러한 지식 베이스를 구축하기 위한 지식은 대개 다음의 세가지로부터 만들어진다.

- 조업 전문가의 과거 경험 (prior experience of experts)
- 공정의 과거 조업 데이터 (process operation history)
- 기본적인 물리화학적 원리 (fundamental physical principles)

2.1. 구조지식베이스 (Organizational Knowledge Base)

구조지식베이스(organizational knowledge base)는 단위 장치들의 공간적인 배치나 연결관계에 관한 지식을 가지고 있다. 이 지식은 하나의 공정이 어떤 단위 장치들로 구성되어있고, 그들이 서로 어떻게 연결되어있는지를 나타낸다.

화학 공정의 단위 장치들은 공정 장치(process units)와 안전 장치(safety units)로 분류될 수

있다. 공정 장치는 시스템이 주어진 기능을 수행하기 위하여 작동을 하는 장치들을 말하며 일반적으로 반응기, 증류탑, 열교환기 등으로 안전 장치를 제외한 모든 단위 장치들이 이에 해당한다. 안전 장치는 공정의 안전을 확보하기 위해 설치되어 있는 장치로서 파열판(rupture disk), 경보 장치(alarm), 감지기(detector), 연동장치(interlock system) 등을 생각할 수 있다. 안전 문제를 해석하는데 있어서는 공정 내에 있는 안전 장치들을 고려해야 보다 의미 있는 분석 결과를 얻을 수 있다. 각각의 단위 장치에 대해서 장치식별이름인 Name, 모델이름인 Unit ID, upstream에 연결된 장치식별이름을 나타내는 Connected from, downstream에 연결된 장치식별 이름인 Connected to, 설치된 안전장치인 Safety device, 단위 장치에서 다루는 물질인 Material 등의 슬롯을 통하여 표현된다.

이러한 정보는 P&ID같은 공정 도면과 사용자로부터 제공되어 완성되며, 위험성 분석에서 구조 지식 베이스는 propagation path를 찾는 데 이용되고 safeguard를 제시하는데도 이용된다.

2.2 물질지식베이스 (Material Knowledge Base)

화학 공정이 안전에 특히 신경을 써야하는 가장 큰 이유중의 하나는 물리적인 조업 조건의 위험성외에, 다루는 물질 자체가 독성, 폭발성 등의 화학적인 위험성을 지니고 있는 경우가 많기 때문이다. 그러므로 지식 베이스에는 공정에 있는 물질의 위험성에 대한 근거 지식을 갖추고 있어야 효과적인 위험성 평가를 할 수 있다. 그런데 이러한 성질을 정의한 여러 규격과 코드중에서 본 연구에서는 NFPA (National Fire Protection Association) code [5, 6]를 이용하였다.

물질 지식 베이스는 위험성 지수(Hazard indices)를 나타내는데 위험성 지수는 NFPA code에 따라서 각 물질에 대한 인화성 지수(Flammability hazard rating(Nf)), 유해성 지수(Health hazard rating(Nh), 반응성 지수(Reactivity hazard rating(Nr))로 되어있다. 각각의 지수는 0부터 4까지의 크기를 가지며 지수가 커짐에 따라 위험 정도가 높아짐을 나타낸다.

2.3 장치지식베이스 (Unit Knowledge Base)

물리적 위험 상황을 표현하는 모델을 만들기 위해서 먼저 공정에서 위험한 상황이 전개되는 순서를 분석하면 다음과 같다. Fig. 1 에 이 과정을 나타내었다.

(1) 한 공정 장치(basic unit)에서 기능 이상이 발생한다.

(2) 기능 이상이 그 장치의 상태변수에 일탈을 유발한다.

(3) 상태 변수의 일탈이 upstream과 downstream의 장치의 변수에 일탈을 야기한다.

(4) 장치와 upstream, downstream의 기능 이상과 변수 일탈이 사고(accidents)와 연결된다.

이를 표현하기 위해서는 다음의 네가지 지식이 필요하다

- (1) 단위 장치에서 기능 이상과 변수와의 관계.
- (2) 단위 요소 변수들의 인과 관계.
- (3) 단위 장치들의 전체 공정에서의 서로 연결 상태.
- (4) 기능 이상, 변수 일탈과 사고의 관계.

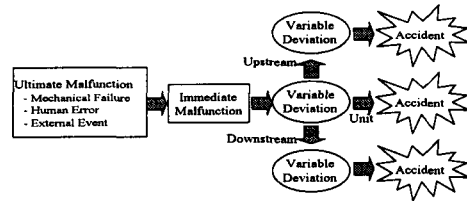


Fig. 1. Accident developing sequence.

여기서 장치 지식 베이스는 장치 거동 모델(unit behavior model)과 장치 기능 모델(unit function model)로 구성되는데 이들은 각각 위의 (1)과 (2)에 해당하는 지식을 표현한다.

2.3.1 장치거동모델 (Unit Behavior Model)

위험성 평가에서 필요한 거동 모델은 각 단위 요소 전후, 변수들의 이상 전과 관계(인과 영향 관계, causal influence)를 표현하는 것이다. 단위 장치의 거동 모델을 만드는 첫 번째 단계로 모델링에 사용될 변수들을 결정한다. 공정의 상태를 나타내는 여러 변수 중에서 위험성 평가에서 관심 있는 변수인 압력(pressure(P)), 온도(temperature(T)), 유량(flow rate(F)), 조성(composition(C)), 액위(level(L)), 반응 변수(reaction(r))을 도입한다. 모델은 다음과 같이 구성한다.

(1) 단위 장치의 입력(inlet), 장치내부(internal), 출력(outlet) 라인에서 의미 있는 변수들(variable)들을 정의한다.

(2) 변수들 사이의 인과 관계를 결정한다.

(3) 변수들의 High deviation state와 Low

deviation state에 영향을 주는 다른 변수들의 상태(Cause variable)를 2단계에서 정한 인과관계로부터 알아내어 연결시킨다.

2단계에서 변수들간의 인과관계는 대개 미분방정식, 대수방정식과 같은 변수사이의 관계를 나타내는 수학적식으로부터 유도될 수 있다.

한가지 유의할 점은 거동 모델은 단위 요소 자체의 상태를 표시하지는 않는다는 점이다. 예를 들면 밸브의 개폐 여부, 파이프에 누출(leaking)이 있나 없나등을 표시하진 않고 이것에서 파생되는(영향을 받은) 변수의 상태가 표시된다. 이것에 대한 개념은 장치 기능 모델을 통해 표현된다.

2.3.2 장치기능모델 (Unit Function Model)

여기서 기능의 개념은 단위 장치가 그 안에 있는 변수에 대해 어떤 기능을 하는 가이다. 모든 단위 요소들은 거동을 나타내는 어떤 변수에 대해서 어떠한 역할을 한다.

의미 있는 inlet variable, internal variable, outlet variable 별로 이들이 high malfunction과 low malfunction 상태에 이르게 하는 원인들을 결정한다.

같은 기능 이상이라도 physical view에 따라 high와 low가 달라질 수 있는데 파이프 blocking은 outlet flow의 low지만 internal pressure의 high가 되고 outlet pressure에는 low가 된다.

3. 다중 모델을 이용한 추론 알고리즘

3.1 Deviation analysis algorithm

Deviation analysis algorithm은 변수 일탈(given deviation)로부터 추론이 시작되어 그 단위 장치의 기능 모델(unit function model)에서 주어진 변수 일탈의 원인이 되는 기능 이상(root malfunction)을 찾는다. Root malfunction은 없을 수도 있고, 여러 개일 수도 있다. 다음으로 장치 거동 모델(unit behavior model)로부터 주어진 deviation의 원인이 되는 다른 변수들의 일탈 상태를 모두 찾는다. 이것을 cause deviation이라 한다. 이 과정은 다시 Inlet variable, internal variable, outlet variable의 영향을 받는 경우로 나뉘어 구조 지식 베이스(organizational knowledge base)와 장치의 거동 모델(unit behavior model)로부터 cause variable deviation을 알아내고 또한 각 unit의 cause deviation이 결정되면 각 장치의 기능 모델에서 그 장치에서 확인된 장치의 cause deviation에 대한 기능 이상(cause malfunction)을 알아낸다. 이렇게 모든 deviation과

malfunction을 알아내고 나면 accident analysis algorithm에 의해 가능한 사고를 추론하며 그에 관한 safegurads가 제시된다.

Internal variable이 관련된 경우에는 그 unit의 behavior model에서 다시 cause variable deviation을 찾는다. 확인된 cause deviation은 다시 inlet variable, internal, variable, outlet variable일 수 있다. Inlet이나 outlet variable의 경우 앞에서 설명한 절차에 따라 다음 추론을 진행하고 다시 다른 internal variable의 경우에는 다시 이 과정을 반복한다.

위의 추론 과정을 거쳐 주어진 변수 일탈에 대한 원인 규명이 끝나면, 주어진 변수 일탈이 다음 장치에 미치는 파급 효과(propagation effect)를 알아내기 위해 다음 단위장치의 거동 모델에 주어진 변수 일탈을 cause deviation으로 하여 그 effect deviation을 알아낸다. 이 과정을 계속 후속 단위 장치에 적용하여 분석자가 분석을 원하는 장치까지 파급 영향을 알아낼 수 있다.

다음으로 deviation analysis algorithm은 accident analysis algorithm을 부른다. 구체적인 추론과정이 Fig. 2에 있다.

3.2 Accident analysis algorithm

Accident analysis algorithm은 모든 장치의 물리적 상태와 물질에 대한 정보로부터 발생 가능한 사고들을 추론하는 것이다. 이를 위해서 material knowledge base로부터 공정내 장치들이 지니는 물질에 대한 인화성 지수, 반응성 지수, 유해성 지수에 관한 정보를 얻고, 확인된

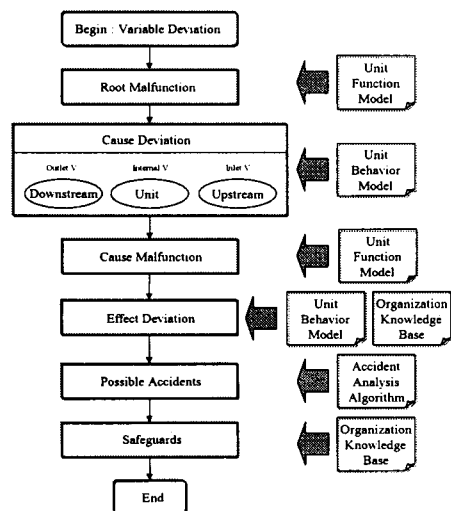


Fig. 2. Deviation analysis algorithm.

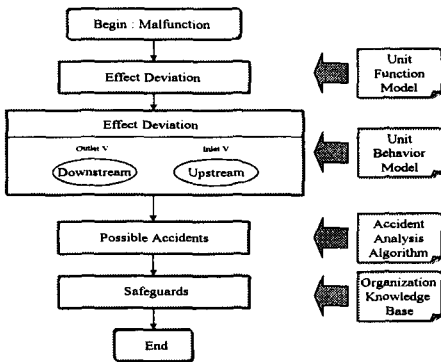


Fig. 3. Accident analysis algorithm.

기능 이상과 변수 이탈로부터 관련 있는 위험 요소를 알아낸다. Accident analysis algorithm에는 모든 생각 가능한 형태의 사고가 표현될 수 있다. 그 중에서 전형적인, 세가지 accident type은 malfunction과 위험물질에 의해 일어나는 사고, 변수이탈과 위험물질에 의해 일어나는 사고, 변수이탈과 장치의 특성으로 일어나는 사고 등이다.

Accident analysis algorithm은 공정 장치의 malfunction, deviation, characteristic, material property를 연계하여 보다 다양한 형태의 사고를 추론해낼 수 있다. Fig. 3에 accident analysis algorithm을 나타내었다.

다음으로 추론된 위험 상황에 대한 안전 장치(safeguards)가 존재하는 가를 알아내기 위해 구조 지식 베이스로부터 안전 장치의 배치 상태에 대한 정보를 얻는다.

3.3 Malfunction analysis algorithm

Malfunction analysis algorithm은 사용자가 지정한 장치의 기능 이상으로부터 추론을 시작한다. 장치의 기능 모델로부터 주어진 이상 기능이 발생시키는 변수에 대한 영향을 알아낸다. Given malfunction에 의해 발생하는 variable deviation은 한가지 일 수도 있고, 여러 개일 수도 있다. 다음으로 이 변수 이탈이 주변 장치들로 영향을 미치는 것을 구조 지식 베이스와, 장치 거동 모델로부터 알아낸다. Deviation analysis와는 달리 주어진 malfunction이외의 다른 장치에서의 이상 기능은 고려하지 않는다. 주어진 기능 이상에 의해서 영향을 받는 모든 단위 장치의 물리적 상태가 결정되면 Accident analysis algorithm을 부른다.

Malfunction analysis algorithm을 Fig. 4에 나타내었다.

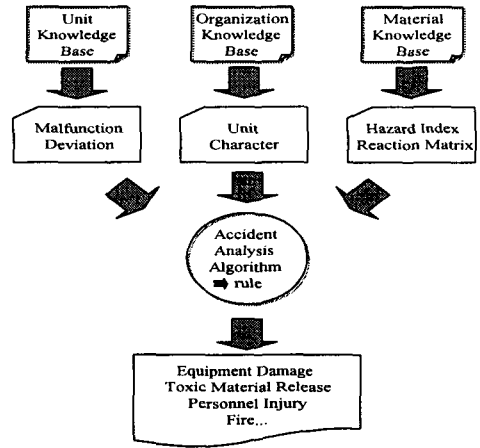


Fig. 4. Malfunction analysis algorithm.

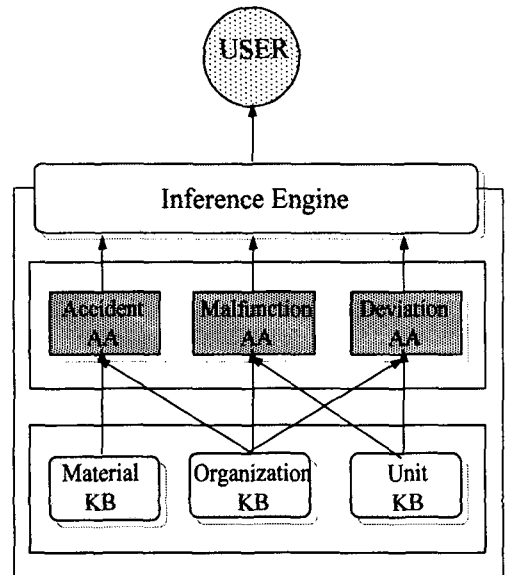


Fig. 5. Architecture of AHA.

4. 안전성 분석 시스템 AHA(Automatic Hazard Analyzer)

4.1 AHA의 구조

본 연구에서 개발한 안전성 자동 분석 시스템 AHA(Automatic Hazard Analyzer)의 개념적인 구조는 Fig. 5와 같다.

본 시스템은 전체 Knowledge Base와 Analysis Algorithm을 총괄하고 제어하는 Inference Engine과 세 개의 Knowledge Base, 그리고 세 개의 Analysis Algorithm으로 이루어져 있다.

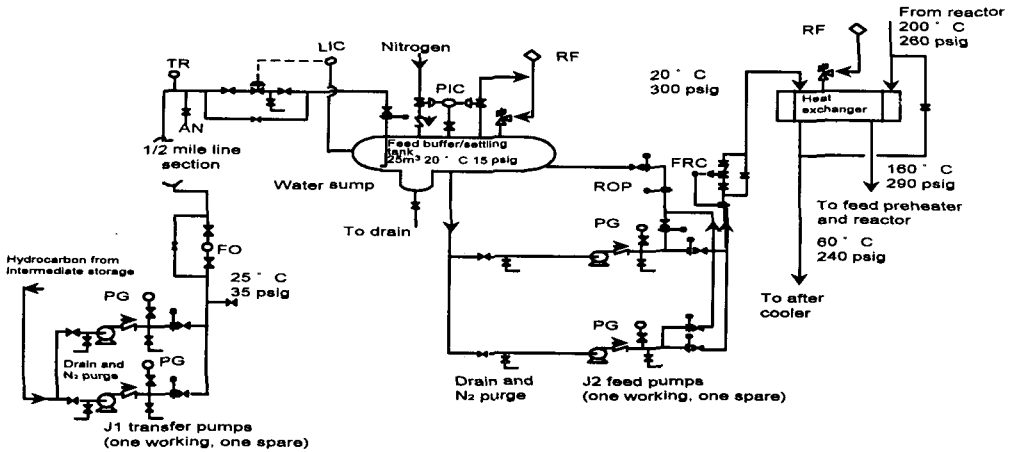


Fig. 6. Feed section of olefin dimerization plant.

Deviation Analysis Algorithm과 Malfunction Analysis Algorithm을 추론할 때는 Organizational Knowledge Base 와 Unit Knowledge Base를 사용하고, Accident Analysis Algorithm은 Organizational Knowledge Base와 Material Knowledge Base를 사용한다.

4.2 AHA 의 특징

본 시스템은 Ram 64M IBM PC에서 전문가 시스템 개발 도구인 G2를 사용하여 구현하였다. 모델링에 사용된 장치와 개체들은 모두 class를 사용하여 정의하였고 상위 class와 하위 class를 정의함으로써 공통적인 속성을 상속 받을 수 있게 하였다. 각각의 Knowledge Base, Analysis Algorithm들과 Inference Engine에 대해서는 각각의 workspace를 부여하였고 장치마다 workspace를 부여함으로써 새로운 장치의 추가와 수정이 용이하도록 하였다. 또 Organization Knowledge Base에서의 각각의 unit의 연결관계는 G2의 특성을 이용하여 연결과 변형, 단절이 용이하며 연결된 정보도 자동으로 기억하게 된다. 각각의 지식베이스는 class와 relation으로 구현하였고, 추론알고리즘은 organization knowledge base는 frame으로 다른 두가지 알고리즘은 rule, relation으로 구현하였다.

Unit Behavior Model과 Unit Functional Model은 자료구조중의 tree구조를 갖게 되므로 이를 이용하여 부모와 자식에 해당하는 연결관계와 정보를 relation으로 표현하였다.

주요한 workspace는 다음과 같다.

- Unit Knowledge Base

- Unit Behavior Model
- Unit Functional Model
- Material Knowledge Base
- Hazard Index
- Organization Knowledge Base
- Accident Analysis Algorithm
- Malfunction Analysis Algorithm
- Deviation Analysis Algorithm
- Class
- Main Inference

이러한 workspace들을 hierarchy로 표현하여 공정의 전체구조를 알기 쉽도록 하였다.

5. 사례 연구

본 공정은 F. P. Lee 의 "Loss Prevention in the Process Industries"에서 인용하였다[8]. 또한 Venkat가 제안한 HAZOPEXPERT에서 예제로 사용되기도 하였다[16]. 이 공정에서는 약간의 물이 섞여있는 알켄과 알칸의 혼합물이 중간 저장 탱크로부터 buffer/settling 탱크로 연속적으로 운송된다. 이 혼합물에 섞여있는 물은 dimerization reaction에 나쁜 영향을 미치기 때문에 feed/product 열교환기를 거치기 전에 settling tank에서 수작업으로 일정한 간격을 두고 제거한다. Fig. 8 에 본 공정을 나타내었다.

Fig. 9 는 Feed Section of Olefin Dimerization Plant의 settling tank의 직전부분의 pipe에서 'no flow'라는 deviation이 일어났을 경우에 그 variable의 deviation의 전과과정을 보여주는 결과의 일부이다. 연구결과는 어떤 한 unit에서 변수가 이탈이 일어났을 경우에 이 이탈이 다

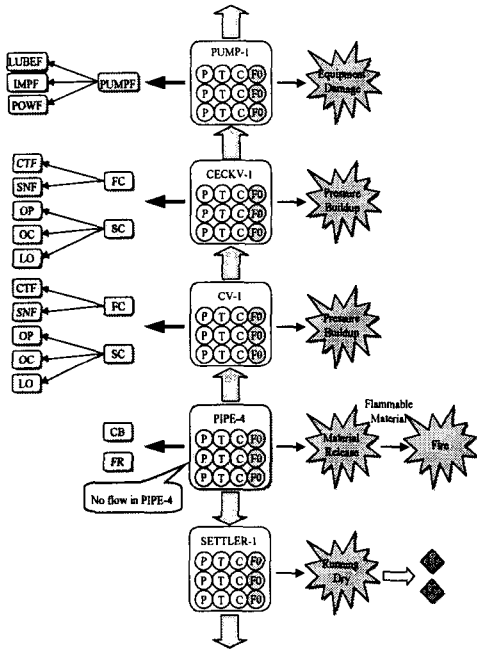


Fig. 7. Results of no flow in pipe-4.

른 unit 으로 어떻게 전파되는가 하는 경로를 보여줄 수 있다. 이것은 분명히 이전의 HAZOP 이나 HAZOPEXPERT에서 나온 결과보다 훨씬 명확한 결과를 나타내 줄 수 있다. no Flow 를 입력으로 Deviation analysis를 수행하면 먼저 파이프의 기능 모델에서 이들의 root malfunction 을 찾는다. 그 결과 CB(complete block), FR (fracture) 가 제시된다. 다시 알고리즘은 파이프의 거동 모델로부터 cause deviation으로 no inlet flow 인식한다. 그 다음 inlet variable의 영향을 받으므로 구조 지식 베이스로부터 앞의 장치 control valve를 인식한다. 이 밸브의 거동 모델에 no outlet flow를 effect deviation으로 입력하여 cause deviation으로 no internal flow를 찾고, 기능 모델로부터 이에 대한 cause malfunction 을 알아낸다. 이러한 과정을 반복하여 주어진 변수 일탈의 원인들을 모두 알아내게 된다.

주어진 변수 일탈의 파급 영향을 알아보기 위해서 알고리즘은 파이프의 거동 모델에 cause deviation으로 no internal flow를 입력하여 no outlet flow를 인식한다. outlet variable에 영향을 미치므로 구조 지식 베이스로부터 다음에 연결된 settling tank를 인식하고 이 장치의 거동 모델에 no inlet flow를 cause deviation으로 하여 effect deviation 인 no internal flow 를

알아낸다. 이러한 과정을 반복하여 모든 장치에서의 effect deviation을 인식하게 된다.

위의 분석 결과 공정의 모든 장치에서 물리적인 상태가 결정되고, 알고리즘은 accident analysis를 수행한다. accident analysis 에서는 pressure buildup, material release, fire, running dry 등의 사고로 추론된다. settling tank 의 running dry 에 대해 level controller나 level indicator 가 안전 장치로 제시된다.

안전성 분석 결과를 tree 형식으로 표현하여 사고가 전개되는 경로를 표시하였고 그 가운데 적절한 안전 장치가 있는지를 확인할 수 있게 하여 설계자가 보다 안전한 공장으로 만들기 위한 기본 정보를 제공할 수 있게 하였다. 전문가들이 분석을 수행하는 경우에는 시간이 오래 걸리고, 인간의 특성상 주의력이 약해지는 등의 문제 때문에 분석 결과에 신뢰가 떨어지기 쉽다. 또한 모든 경우를 확인한다는 것은 실제로 거의 불가능하다. 그러나 자동화 시스템으로는 이런 단점을 충분히 극복할 수 있다.

본 시스템의 결과는 이전의 다른 시스템의 결과와는 달리 사고의 시작(근본 기능 이상)에서부터 실제 사고에 이르는 경로를 모두 제시하여 주고 기존의 설치되어 있는 안전 장치가 적절한지를 검증해주고 있다. 또한 중간 추론 과정을 제시함으로써 추론에 대한 신빙성을 높여준다.

6. 결 론

본 연구는 기존의 안전성 평가의 단점 및 미진한 부분을 보완하고 좀 더 향상된 안전성 평가의 자동화를 위해 다중 모델 접근 방법을 사용하였고, 세가지의 알고리즘을 통해 평가 방법의 다양성과 보완을 꾀하였다.

그리하여 안전성 자동 분석 시스템인 AHA 를 rule과 procedure, frame, class등을 통해 구현하였다.

특징으로서는 장치지식베이스에서는 공정장치를 변수와 기능으로 분리하여 근본기능이상과 직접기능이상에 이르는 malfunction hierarchy 를 구성하였고 변수는 위치에 따라 inlet, internal, outlet으로 명확히 구분하여 causal relation을 표현하였고, 물질지식베이스에서는 물리적 성질뿐 아니라 화학적 성질까지 고려하였으며, 구조 지식베이스에서는 화학 공정을 구성하는 여러 stream들을 그들의 역할에 따라 분류하였고, 이를 통하여 공정 구조를 위험성 분석에 적절한 구조로 다시 구성하였다.

알고리즘은 세가지로 구분하여 각각의 특성을 명확히 하여 변수이탈에서부터 시작하는

deviation analysis algorithm, 기능이상에서부터 시작하는 malfunction analysis algorithm, 공정 장치의 물리적 화학적 상태로부터 가능한 모든 사고 형태를 표현하는 accident analysis algorithm 으로 나누어 화학공장에서 일어날 수 있는 모든 가능한 정보를 나타낼 수 있도록 하였다. 또한 단순한 사고의 원인, 결과뿐만 아니라 사고에 이르기까지의 event combination 을 제시함으로써 assessment에 바로 활용할 수 있는 자료를 제시해 준다.

감 사

본 연구는 포항공과대학교 지능자동화연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Heeyeop Chae, "Safety Analysis Using an Expert System in Chemical Processes", *Chem, Eng.*, 11(3), pp. 153-161 (1994).
2. 이병우, "화학공정에서의 위험성 평가의 자동화를 위한 지식 표현에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대학교 화학공학과 (1995).
3. Jung Chul Suh, "New Strategy for Automated Hazard Anlysis of Chemical Plants. Part 1 : Knowledge Modelling", *Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 10. No. 2. pp. 113-126 (1997).
4. Jung Chul Suh, "New Strategy for Automated Hazard Anlysis of Chemical Plants. Part 2 : Reasoning Algorithm and Case Study", *Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 10. No. 2. pp. 113-126 (1997).
5. NFPA, NFPA Code 49 Hazardous Chemical Data, National Fire Protection Association (1991b).
6. NFPA, NFPA Code 325M Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids, National Fire Protection Association (1991a).
7. Ellis Horowitz, *Fundamentals of Data Structures in C*, COMPUTER SCIENCE PRESS, (1993).
8. Lees, F.P., *Loss Prevention in the Process Industries*, Butterworth, London (1980).
9. AIChE, *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 2nd ed., AIChE, New York (1992).
10. Black, J.M. and J.W. Ponton, "A Hierarchical Method for Line-Line Hazard and Operability Studies," *Proceedings of IFAC Workshop*, 227 (1992).
11. Bunn, A.R. and F.P. Lees "Expert Design of Plant Handling Hazardous Materials - Design Expertise and Computer Aided Design Methods with Illustrative Examples," *Chem. Eng. Res. Des.*, 66, 419 (Sep. 1988).
12. Catino, C. A. & Ungar, L. H., "Model-Based Approach to Automated Hazard Identification of Chemical Plants", *IChE Journal*, 41(1), pp.97-109 (1995).
13. Chittaro, L., Guida G., Tasso C., & Toppano, E., Functional and Teleological Knowledge in the Multimodeling Approach for Reasoning About Physical Systems : A Case Study in Diagnosis. *IEEE Trans. SMC*, 23(6), pp.1718-1751 (1993).
14. Shum, S.K., J.F. Davis, W.F. Punch and B. Chandrasekaran, "An Expert System Approach to Malfuction Diagnosis in Chemical Plants", *Comput. Chem. Eng.*, 12, 27 (1988).
15. Venkatasubramanian, V. and R. Vaidhyanathan, "A Knowledge-Based Framework for Automating HAZOP Analysis," *AIChE J.*, 40(3), 496 (1994a).
16. Venkatasubramanian, V. and R. Vaidhyanathan, "HAZOPEXpert: A Knowledge-Based System for HAZOP Analysis," *PSE-94 Proceedings* (1994b).
17. Whetton, C. "Functional Methods of Hazard Identification," *PSE-94 Proceedings*, 1123 (1994).
18. Nagel, C. and G. Stephanopoulos, "Inductive and Deductive Reasoning : the Case of Identifying Potential Hazards in Chemical Processes", *Advances in Chemical Engineering*, 21, 187 (1995).