

정성적 전파를 이용한 HAZOP분석 전문가 시스템 구축

이진명, 허보경, 황규석, 윤인섭*

부산대학교 화학공학과

서울대학교 화학공학과*

Expert System using Qualitative Propagation for HAZOP Analysis

Jin Myoung Lee, Bo Kyeng Hou, Kyu Suk Hwang, En Sup Yoon*

Dept. of Chemical Eng., Pusan National Univ.

Dept. of Chemical Eng., Seoul National Univ.*

1. 서론

근래에 화학 플랜트가 대형화, 복잡화되면서 위험발생빈도가 잦아지고 있다. 게다가 화학공장은 위험 발생 시 그에 대한 피해가 상당하므로 공정안전관리(process safety management, PSM)를 위한 위험성 평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그 중에서도 위험과 운전성(Hazard and Operability, HAZOP)기법은 공정에서 발생가능한 위험성을 발견하고 사고의 원인을 규명하여 이를 방지하기 위한 대응책을 제시하고, 조업성을 검토하여 공정 운전상에 발생할 수 있는 모든 문제에 대한 대처를 가능하게 하므로 가장 체계적이고 논리적인 방법으로 인식되고 있다. 하지만 HAZOP 분석을 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되고, 대상에 대한 전문적인 지식을 요하므로 분석하는 전문가의 지식 수준에 따라 다른 결과를 낼 수 있기 때문에 객관성이 결여될 수 있다.

따라서 이러한 단점을 해결하기 위해서는 공정지식의 정형적인 획득과 표현방법이 개발하여 HAZOP 분석과정을 자동화해야한다. 이를 위한 전문가 시스템을 개발하기 위하여 HAZOP 분석에 필요한 지식을 객체 지향(Object-Oriented)기법을 사용하여 표현하였고, 정성적 전파(Qualitative Propagation)법을 사용하여 공정에서 발생한 이탈이 다음 장치로 전파되는 과정을 추론하였다.

2. HAZOP 분석법

HAZOP 분석은 영국의 ICI사(社)에서 시작되어 산업공정분야에서 위험성을 평가하는 실질적인 기법으로 발전되었다. HAZOP 기법은 다른 배경과 지식을 가진 5 - 7명의 전문가들이 모여 브레인스톰밍(brainstorming) 방법을 사용하여 화학공장에서의 위험성과 운전성을 정해진 규칙과 설계도면에 의해 체계적으로 분석, 평가한다. HAZOP 분석은 공정이나 조업에서 특정 부분을 분석노드(study node)로 분류하여 분석의 초점을 맞추어 수행된다. 분석 노드 내의 임의의 장치에서 발생

할 수 있는 가능한 모든 이탈(Deviation)의 원인과 결과를 밝혀냄으로써, 사고의 재발생을 미연에 방지하는 것을 목적으로 한다.

이탈은 가이드워드(Guideword)와 공정변수(Process Variable)의 결합으로 표현되며, 가이드워드에는 "No, More, Less, Reverse, Other than, As well as ..."이 있고, 공정 변수에는 "Flow, Temperature, Pressure, Composition ..."이 있다.

예를 들어, "No"라는 가이드워드와 "Flow"라는 공정변수를 결합시키면 "No Flow"라는 이탈을 의미하게 된다.

분석 노드의 장치에서 임의의 이탈 발생 시, 화학공정은 물질의 흐름에 의해서 공정변수의 이탈에 대한 영향이 상부흐름(Upstream)에서 하부흐름(Downstream)으로 미치므로, 이탈에 대한 원인은 상부흐름에서 찾을 수 있고 결과는 하부흐름에서 찾을 수 있다. 발생한 이탈에 대한 원인과 결과를 찾기 위해서 전파식

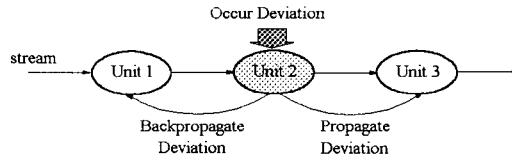


Fig. 1 Back/Propagation of Deviation

(Propagate Equation)을 이용한 이탈의 전파(Propagation)와 역전파(Backpropagation)가 행해진다.

3. 시스템 개요

HAZOP 분석을 실행할 공정을 선택한 뒤, 임의의 장치에 임의의 이탈을 발생시켜 그에 대한 원인과 결과를 규명한다. 이 때 대상 공정을 편이상 몇 개의 공정으로 분류한 영역별분류트리를 지식 기반으로하여 공정을 선택한다.

발생한 이탈이 다른 장치와 공정 전체에 미치는 영향을 추론하기 위해서, 이탈 발생 장치의 하부흐름이 되는 다음 단계 장치와 상부흐름을 제공하는 전 단계 장치에 이탈에 대한 전파와 역전파를 시킨다. 전파/역전파는 입력공정변수와 출력공정변수의 정성적인 비례 관계를 나타낸 전파식을 이용하여 행해진다.

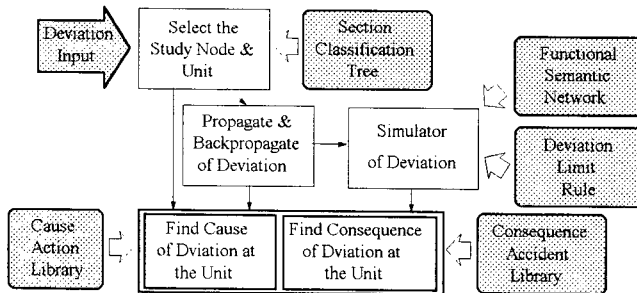


Fig. 2 System Scheme

시스템에 유연성을 부여하기 위해서 각 장치를 객체적으로 관리하였으며, 이탈에 대한 구체적인 원인과 결과, 전파식은 각 장치별로 저장되어 있다. 해당 장치(u-1)에 이탈이 발생하면, 가장 첫단계로 그 장치에서 발생할 수 있는 원인과 결과를 찾는

다. 그리고 전 단계 장치(u-0)에 이탈을 역전파한 뒤 역전파된 이탈에 대해 u-2에서 발생할 수 있는 원인과 결과를 찾고, 다음 단계 장치(u-2)에 이탈을 전파한 후

전파된 이탈에 대한 원인과 결과를 찾는다.

공정에서 이탈 발생 장치가 가지는 중요도와 영향력의 정도에 따라서, 다른 장치로 이탈을 전파/역전파하는 과정에서 이탈을 1)전파 과정에서 소멸되는 이탈, 2)공정에 위험을 유발시키는 이탈, 3)해당 공정 뿐만 아니라 다른 공정에까지 위험을 유발시키는 이탈 3가지로 분류할 수 있다.

플랜트나 공정에서 장치가 가지는 역할의 중요도에 따라 이탈의 영향력의 정도를 If-Then를 형식으로 나타낸 지식을 이탈전파관계틀이라 한다. 이탈전파관계틀에 의하면 어떤 장치들은 공정 내에서의 영향력이 커서 그 장치에 이탈이 발생했을 시 다른 장치나 공정에 큰 위험을 초래하게 된다. 이와 같이 공정에 미치는 영향력이 큰 장치를 중추장치(Pivotal Unit)라 한다.

기존의 연구에서 사용된 변수 중심의 공정모델링 방법에 기능 중심의 공정모델링 방법인 기능의미네트워크를 도입하여, 공정장치를 기능 중심의 관점에서 장치의 상태를 인식한다. 기능의미네트워크는 각 공정을 기능적인 관점에 입각하여 작성한 의미네트워크로써, 공정 간의 인과관계에 의해 한 장치에서 발생한 이탈이 다른 공정에 야기하는 영향을 추론할 수 있다.

4. 이탈의 전파, 역전파

전파식을 이탈을 전파하기에 앞서 이탈을 기호화한다. "Dev(T)=+"는 공정변수 T가 증가했다는 의미로써, "More(High) Temperature"라는 이탈의 표현값이다. 이탈의 부호값 중 +는 공정변수의 증가를, -는 공정변수의 감소를, 0은 공정변수에 이탈이 없는 정상상태를 의미한다. 다른 위험성 평가법과는 달리 HAZOP 분석에는 물질의 흐름이 존재하지 않게되는 경우도 고려하게 된다. 이것은 이탈의 가이드워드가 "No"인 경우로 이 때는 e라는 부호를 사용하여 표현한다. 따라서 "Dev(F)=e"는 공정변수 F가 존재하지 않는다는 의미로, "No Flow"라는 이탈의 표현값이다.

공정 내 장치에 관한 지식을 객체적으로 관리하기 위해서 장치계층트리를 작성하였다. 트리는 장치를 포괄적 관점에서 분류한 제어장치, 열교환장치, 수송장치, 안전장치, 용기, 파이프 등을 최상위 클래스로 삼고, 다시 그것을 세부적으로 분류한 하위 클래스로 확장하기가 용이한 구조를 가진다.

트리의 최하위 클래스는 실례에 해당하는 실 공정장치로써, 각 상위 클래스의 속성값을 물려받는다. 장치는 서로 다른 두 개 이상의 상위 클래스를 가질 수 있고, 각 클래스의 속성값을 상속받을 수 있다.

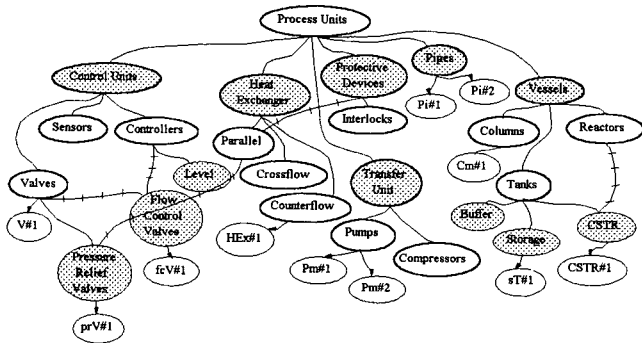


Fig. 3 Unit Hierarchical Tree

각 장치에서 발생한 이탈에 대한 전파식은 실례의 직속 상위 클래스의 지식에 저장되어 있어, HAZOP 분석 대상공정이 바뀌더라도 시스템을 적용할 수 있도록 한다.

5. 시스템 적용

본 연구에서는 화학 플랜트에 가동력을 제공하는 보일러 플랜트를 대상공정으로 하여 HAZOP 분석을 실행하였다. 보일러 플랜트는 화학 플랜트의 중요한 유틸리티로서 이상이 발생했을 시 화학 플랜트 전체에 치명적인 위험을 야기할 수

있으므로, 이에 대한 안전성 평가는 매우 중요하고 정밀성이 요구되어진다. 보일러 플랜트를 몇 개의 공정으로 분류하였는데, 이 중 공기를 공급하는 Air-Flow-Line 내의 장치 중 GAH(Gas Air Heater)에 "Dev(F)=e"라는 이탈을 발생시켜 분석을 실행하였다.

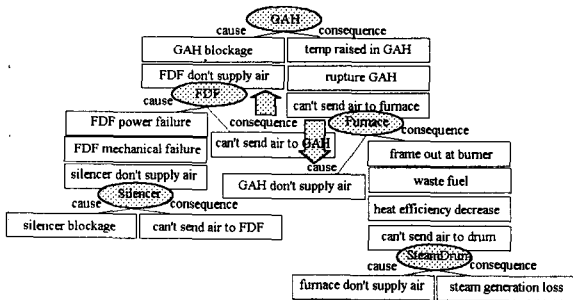


Fig. 4 Cause/Consequence Sequence of GAH

6. 결론

이상의 지식과 추론엔진을 프로그래밍하여, 다음의 분석 결과를 얻을 수 있었다. 이탈의 전파/역전파와 병행하여 각 장치에서의 원인과 결과를 규명함으로써, 결과는 서로 밀접한 연관성을 가지게 되어 한 장치에서 발생한 이탈이 다른 장치와 공정 전체에 어떤 영향을 미치는지 명시적으로 규명된다.

>(cause-consequence-output e)

- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| ((SILENCER BLOCKAGE)) | ((COMBUSTION AIR TEMPERATURE HIGH)) |
| ((NO AIR INSERT TO FDF)) | ((PIPE RUPTURE)) |
| ((PIPE BLOCKAGE)) | ((PIPE BLOCKAGE)) |
| ((NO AIR INSERT TO FDF)) | ((NO AIR INSERT TO FCD)) |
| ((FDF POWER FAILURE)) | ((WIND BOX MECHANICAL FAILURE)) |
| ((FDF MECHANICAL FAILURE)) | ((NO AIR INSERT TO BURNER)) |
| ((NO AIR INSERT TO GAH)) | ((FAILED IGNITION)) |
| ((PIPE BLOCKAGE)) | ((FLAME OUT AT BURNER)) |
| ((NO AIR INSERT TO GAH)) | ((WASTE FUEL)) |
| ((INLET DAMPER BLOCKAGE)) | ((CAN'T GENERATION STEAM)) |

7. 참고문헌

- 1) V. Venkatasubramanian, R. Vaidhyanathan, "A Knowledge-Based Framework for Automating HAZOP Analysis", AIChE Journal, Vol. 40, No. 3, PP. 496~505, 1994.
- 2) A Waters, J. W. Ponton, "Qualitative Simulation and Fault Propagation in Process Plants", Chem Eng Res Des, Vol. 67, 1989.