

## 가스시설 사고원인 해석을 위한 지식 데이터베이스 프로그램 개발

김민섭·임차순·이진한\*·박교식\*·고재욱

\*한국가스안전공사 가스안전기술연구원  
광운대학교 화학공학과

(2000년 12월 11일 접수, 2000년 12월 27일 채택)

### A Study on Developing a Knowledge-based Database Program for Gas Facility Accident Analysis

Min Seop Kim · Cha Soon Im · Jin Han Lee\* · Kyo Shik Park\* · Jae Wook Ko

\*Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation  
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University

(Received 11 December 2000 ; Accepted 27 December 2000)

#### 요 약

본 연구에서는 국내 안전문화의 향상과 가스 관련 사고의 재발을 방지할 수 있으며, 사고 원인 분석의 원활한 수행을 도모할 수 있도록 기술적 지원을 할 수 있는 『가스 사고 근본 원인 해석 시스템』을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램은 가스사고 조사시 사고원인을 체계적으로 분석할 수 있도록 사고사례를 분석하여 사고원인 데이터베이스를 구축하였으며, If~Then Rule을 적용하여 사고의 1차 원인을 찾을 수 있게 하였다. 이때 사고 발생장소, 사고 형태, 사고시 운전 상황, 사고 가스, 사고 발생 기계장치 및 구성요소들을 유기적으로 연결하여 도출되는 1차 원인의 수를 줄이도록 하였다. 또한, 인적 오류, 장치 결함, 외부 요인을 시작점으로 하여 5단계의 질의를 통하여 근본 원인을 찾아갈 수 있도록 하는 Root Cause Analysis Map을 구축하였다.

**Abstract** - We develop the database program for accident cause analysis which can help to increase domestic safety custom and prevent recurrence of gas accident and analyze accidents easily. The program developed in this study consists of two parts. one part uses accident case database applied if than rule, so it finds root causes by inference of some input values. The other uses Root Cause Analysis Map which divided human errors and equipment difficulties and so we get general root cause by reply some proper questions.

**Key words** : root cause, root cause map, causal factor, knowledge database

#### 1. 서 론

오늘날 가스연료는 가장 대중적이고 편리한 연료로서 거의 모든 곳에서 국민의 생활연료로 자리잡고 있으며, 가스 이용도도 취사용,

가스보일러, 냉방용, 산업용, 자동차용 등 각 분야에서 복잡 다양한 형태로 사용되고 있다. 그러므로 가스 소비증가와 보급에 따른 제반 문제를 원활하게 해결하기 위해서 가스생산시설, 대형저장시설, 운송시설, 저장·충전시설

등의 시설 증설을 요구하고 있는 실정이다. 따라서 가스 사용량의 증가와 시설의 증설로 인하여 크고, 작은 가스 사고의 발생도 증가하고 있는 현실 있다.

현재, 선진 외국의 경우 각종 법규 및 자발적인 안전증대 운동으로 인하여 안전성 향상을 위한 각종 기술개발과 아울러 관련 Database의 구축을 시도하고 있다. 특히, 네덜란드의 경우 매년 발생하는 전세계적인 사고 사례를 토대로 철저한 원인 규명과 Database를 지원하여 동종의 사고가 발생하지 않도록 하고 있다. 또한, 영국의 경우에도 MHIDAS라는 Software를 개발하여 과거에 발생했던 사고를 바탕으로 안전관리와 사고예방에 이용하도록 하고 있으며, 관련 자료 및 기술을 지속적으로 Upgrade하고 있다.

그러나 국내의 경우에는 아직까지 이렇다할 기술적 지원 및 관련 자료의 지원이 부족하여 한번 겪었던 뼈아픈 경험을 2번, 3번 반복해서 겪고 있는 실정이다. 과거에 경험했던 뼈아픈 경험을 되풀이하지 않기 위해서는 앞서 살펴본 외국의 경우와 같이 지속적인 관심과 원인 규명을 통한 동종의 사고방지에 많은 노력을 기울여야 한다.

본 연구는 가스사고 조사시 사고원인 해석을 위한 지식 데이터 베이스 시스템을 개발하여 체계적으로 가스사고의 원인을 규명하고, 동종의 사고가 재발되지 않도록 능동적인 안전관리 문화를 유도하고자 하는 목적이 있으며, 궁극적으로 가스관련 사고원인에 대한 지식기반의 Database를 구축하고자 한다.

## 2. Root Cause Analysis

잠재적인 사건의 근본 원인을 찾는 분석 과정은 4 단계 과정을 거친다.

### Step 1: Data Collection

자료 수집 활동으로부터 얻은 사실적 증거는 모든 결론 및 근본 원인 분석에 의해 생성된 권고사항에 영향을 미친다. 자료 수집은 분석하는 동안 계속되는 작업이다. 4개의 기본적인 자료 유형은 사람, 물질, 위치, 문헌이 있으며, 가장 변화하기 쉬운 자료는 사람 자료이다. 자료는 자연적인 손상을 방지하기 위해서 빠른 시일 내에 수집되어야 한다.

### Step 2: Causal Factor charting

CF charting은 조사자가 수집된 정보를 분

석하고 조직하는 방법이다. CF chart는 사고 주변의 조건(condition) 뿐만 아니라, 사건 발생을 나타내는 sequence diagram이다. CF charting로 사고 발생의 주요 기여인자(Causal factor)를 찾을 수 있다.

### Step 3: Root Cause Identification

근본 원인 확인은 Root Cause Map으로 불리는 decision diagram을 이용한다. 각각의 Causal factor가 한번에 하나씩 Root Cause Map을 이용하여 분석된다. Map은 causal factor가 존재 또는 발생하는 이유에 관한 질문에 답할 수 있도록 reasoning process로 구성되어있다.

### Step 4: Recommendation Generation

Root cause를 확인한 후, 사고의 재발을 막기 위해 권고사항을 제시한다.

## 3. Multiple Causes

공정 안전 사고는 다중 원인에 의한 결과이다. 그러므로 사고조사팀은 가장 근접한 시나리오를 결정하기 위하여 모든 사실들을 논리적으로 재구성하여 사고 시나리오를 개발해야한다. 하나의 특별한 원인을 선별하는 것은 비슷한 사고의 반복을 예방하는데 별 가치가 없다.

다중 근본 원인을 찾는 것은 항상 단순하고 수월하지는 않다. Multiple Root Cause 분석은 연역적 방식과 귀납적 방법이 있다.

연역적 논리는 일반적인 것으로부터 세부적인 것으로 진행한다. 상위 단계에서의 일반적인 개념 또는 큰 사건을 가지며, 논리는 가능한 시나리오를 따라 뒤로 진행한다(Backward Search). 결함 수 분석(Fault Tree Analysis)는 연역적 접근의 한 예라 할 수 있다.

귀납적 논리는 초기 사고 및 일련의 사실에서 시작하여 가능한 결과를 따라 앞으로 진행한다(Forward Search). 정상 운전 조건으로부터의 이탈이 선택되면, 그 이탈의 결과 및 효과를 찾아간다. HAZOP이 귀납적 접근의 한 예라 할 수 있다.

Multiple Root Cause 분석은 사고가 발생할 수 있는 모든 가능한 방식을 찾는 연역적 추론을 포함한다. 이는 모든 중요한 Root Causes에 대한 체계적 조사에 대한 통합 방법으로 검토 될 수 있다. 구조적 체계는 조사자가 충분한 깊이로 추론하는 것을 돕는다.

분석이 진행함에 따라, 어떤 발견물들이 나

타나기 시작할 것이다. 일반적인 중간 생성물(Common Intermediate) 단계의 발견물은 “운영자가 위험한 화학물질에 대한 제시된 샘플링 절차를 따르지 않았다”와 같은 것들이다. 조사자는 이 부분에서, “사고의 원인은 제시된 절차를 따르지 않았기 때문이다”라고 진술한다. 이후 조사자는 재발 방지를 위한 권고 사항인 조업자가 제시된 절차를 따르도록 할 수 있는 최선의 방법을 찾아간다. 제시된 절차를 따르지 못한 것은 필요한 근본 원인이 아니기 때문에 이 부분에서 멈추는 것은 옳지 않을 수 있다.

근본 원인은 다음과 같은 질문들을 고려함으로써 운영자가 절차를 따르지 않은 이유를 짐도 있게 조사할 수 있다.

1. 절차가 이용되었는가?  
 이용되지 않았다면, 절차는 존재하는가?  
 이것이 사용할 만한가?  
 사용하는데 편리한가?  
 사용하는데 너무 어렵지 않은가?  
 절차가 필요치 않거나 계속해서 강조되지 않는가?  
 이러한 질문에 포함된 주제들은 정책, 표준, 행정적 제어, 감독 수행 그리고 훈련과 같은 것들이 될 수 있다.
2. 절차가 잘못 수행되었는가?  
 그렇다면, 그 형식이 혼란스러운가?  
 그 지침이 모호한가?  
 범위, 세부사항, 그래픽이 부적당한가?  
 check-off가 오용되었는가?
3. 주어진 절차 자체가 잘못되었는가?  
 그렇다면, 인쇄상의 오류인가?  
 사실들이 잘못되었는가?  
 상황이 모두 제시되지 않았는가?  
 개정판이 up-date 되지 않았는가?

#### 4. 사고 원인 해석 프로그램 개발

사고 원인 해석 지식 데이터베이스 프로그램은 크게 두 가지 구성요소로 구성되어 있다. 하나는 사고의 기본 정보와 사고 개요 입력을 통해서 얻은 정보를 가지고 1차 사고 원인을 추론해 가는 지식 데이터베이스 알고리즘이고 두 번째는 제시된 1차 사고 원인을 Causal factor로 하여 각 단계별 질문을 통해서 일반화된 원인을 찾는 RCA Map 이다.

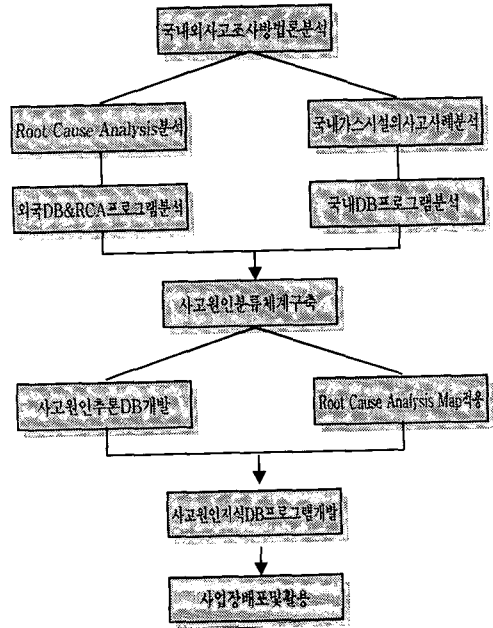


Fig. 1. Developing procedure of knowledge database for accident root cause analysis

#### 4.1. 지식 데이터베이스 알고리즘

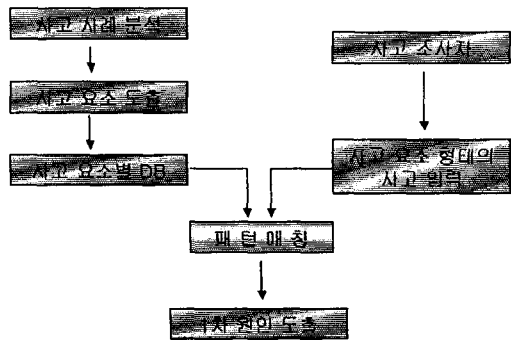


Fig. 2. Developing procedure of knowledge database algorithm

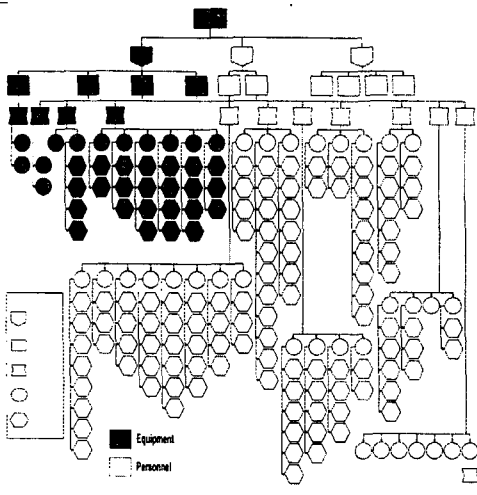
지식 데이터베이스 알고리즘은 과거 사고 사례를 분석하여, 사고의 원인을 찾을 수 있는 요소(사고 요소)를 도출하는 것으로 출발하였다. 분석된 사고 요소는 다음과 같다.

- 사고 발생 장소
- 사고 관련 가스의 종류
- 사고의 형태
- 사고 발생 상황
- 사고 발생 장치 및 구성 요소

이들 각각의 요소들을 If then rule의 조건절의 규칙으로 삼고, 찾고자 하는 원인을 결론절로 한다. 각 사고마다 이를 적용하여, 데이터베이스화한다. 따라서, 새로운 사고가 발생했을 때, 각 요소에 해당하는 답의 형태로 입력된다면, 패턴매칭 되는 결과 값을 찾을 수 있다. 조사자가 사고의 정보를 사고 요소 중심으로 입력하면, 시스템은 이 정보를 사고 요소 DB에서 검색하여 패턴 매칭 하여 조사자가 원하는 1차 원인을 도출한다

**4.2. Root Cause Identification process**

조사자는 정보가 허락하는 한도 내에서 Root Cause Map을 이용하여 상위 단계에서 하위 단계로 내려가면서 각 CF에 대한 Root Cause를 결정한다. 각 CF에 대해서 어떤 Top Level의 Node가 적용되는지를 결정한다. 이 결정에 기초하여 조사자는 다음 단계로 이동하며, 또 하나의 Node를 선택한다. 이후 가장 낮은 Level 이 Root Cause가 된다. 주어진 CF에 적용되지 않는 Node는 고려되지 않으므로, 정의하는 과정에서 시간과 노력이 절약된다.

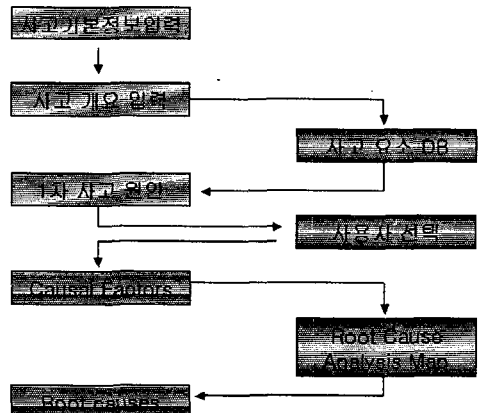


**Fig. 3. Root Cause Map Format**

Fig. 3은 RCM의 형태이며, 위에서 아래로 level별로 나누어 구성되어 있다. RCM을 이용할 때, 조사자는 항상 주어진 CF를 가지고 Map의 Top에서 시작하며, 주어진 정보 내에서 아래로 진행한다. Map의 아래단계에 대한 질문에 대답할 만한 적당한 정보가 없을 경우, 조사자는 바로 그 단계에서 멈춘다.

RCM은 많은 다른 Node들로 분리되는 Decision Diagram이다. 기본적으로 map은 중요한 두 개의 부분으로 구성되어 있다. Map의 왼쪽 Node는 Equipment Failure와 관련된 CF를 범주화하고 정의하는데 이용되며, 오른쪽 node는 Personnel Error와 관련된 CF를 정의하는데 이용된다. 그리고 또 하나의 Node는 Other Difficulty로 구성되어 있다.

Map의 두 부분은 상호 배타적이지 않는데 주목할 필요가 있다. 외부 요인에 의한 고장을 제외한 모든 고장은 궁극적으로 Human Error에 기인한다. 또는 번개나 홍수의 경우에도 설계자가 적당한 예방 대책을 제공하지 않았기 때문이라고도 할 수 있다. 장치 문제도 사람의 실수에 의해 야기되기도 한다.



**Fig. 4. Relations between accident factors database and RCM**

Fig. 4는 사고 요소 DB와 RCM의 연동 과정을 도형화하여 나타내는 것이다.

사고의 기본 정보 및 사고 개요 입력에 의한 지식 데이터베이스를 통해서 1차 사고 원인을 선정한다. 이때 사고 1차원인 목록 중에서 원인을 사용자가 선택하면 이것이 Causal Factor가 된다. 선정된 CF를 가지고 RCM에서 질의 응답을 통해 사고 근본 원인을 발견하는 것이다.

### 5. 가스 사고 원인 지식 데이터베이스 프로그램

본 연구에서 개발한 가스 사고 원인 지식 데이터베이스 프로그램은 기본 정보 입력 화면, 사고 개요 입력 화면, 사고 원인 선택 화면 그리고 사고 원인, 즉 Causal Factor를 선택하여 질문과 예제를 통하여 Root Cause를 추가, 선택할 수 있는 Root Cause Analysis로 구성되어 있다. 그리고 전반적인 입력 내용 및 선정된 근본 원인은 보고서로 출력할 수 있도록 하였다. 사고의 기본 정보에는 Fig. 5와 같이 사고의 일반적인 입력 사항을 기록하게 되어있다.

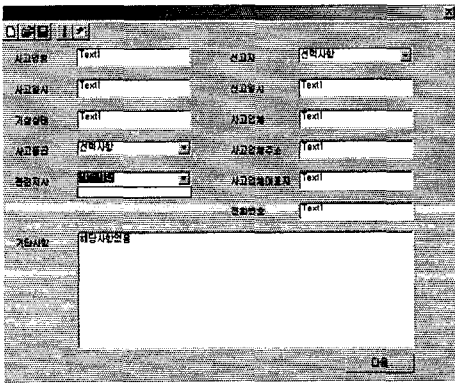


Fig. 5. Input form of basic information

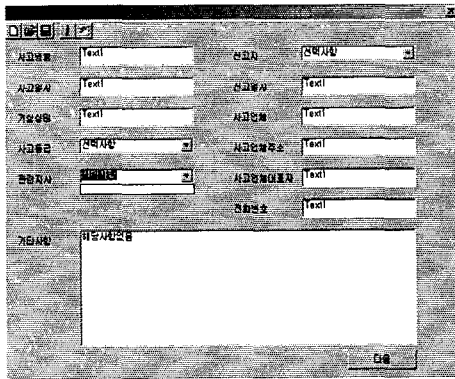


Fig. 6. Input form accident summary

Fig. 6은 사고 개요 입력 화면이다. 이 화면에서는 사고 원인을 도출할 수 있는 중요 데이터베이스를 입력 또는 선택하는 화면으로써 사고 형태, 사고 가스, 운전 상황, 사고 시설,

사고 장치 및 세부장치를 선택하게 된다. 그리고 전반적인 사고 내용을 입력하게 된다.

다음 Fig. 7은 사고 개요 데이터베이스를 통해서 1차 사고 원인을 찾아내는 것으로 If~Then Rule이 적용됨으로써 사고 원인을 찾아내는 것이다.

사고 원인은 지식 데이터베이스에 의해서 한 개 또는 여러 원인으로 나타난다.

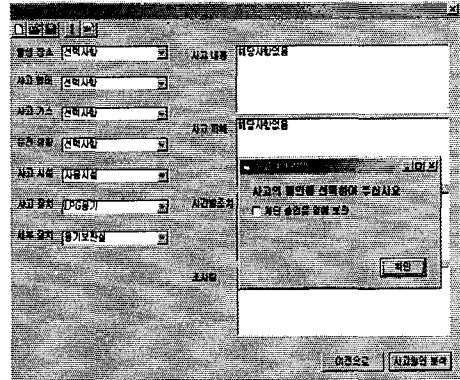


Fig. 7. Form of cause selection

사고 원인 선택 창에서 사고 원인 목록을 선택하게 되면 선택한 원인이 Root Cause Map에서는 Casual Factor로 선정된다.

이 선정된 CF를 시작으로 각 단계별 질문과 예제를 통해서 순차적으로 각 단계를 선정함으로써 선정된 CF에 의한 일반화된 원인을 찾을 수 있다. 또한 선정된 일반화된 원인은 사용자가 navigation tree에 계속해서 추가할 수 있다. 이는 Fig. 8에서 보이고 있다.



Fig. 8. Root cause addition form by using question and response

## 6. 결 론

본 연구에서는 국내 안전문화의 향상과 가스 관련 사고의 재발을 방지할 수 있으며, 사고 원인 분석의 원활한 수행을 도모할 수 있도록 기술적 지원을 할 수 있는 『사고 원인 해석 지식 데이터베이스 프로그램』을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 가스사고 조사시 사고원인을 체계적으로 분석할 수 있도록 사고사례의 사고원인 Database를 활용하였으며, If~Then Rule을 적용하여 질의를 통해서 사고 원인을 찾을 수 있게 하였다. 또한, Root Cause Analysis Map을 통해서 Causal Factor를 확인하고 주요한 문제 원인(Primary Difficulty Source)을 인간, 장비, 다른 외부요인으로 나누어 사고 원인을 찾아감으로써 일반적인 원인을 도출할 수 있도록 구성하였다.

본 연구의 성과품인 『사고 원인 해석 지식 DB 프로그램』을 현재 SMS 대상 업체에 보급하여 사고원인 분석의 원활한 수행을 도모하고 관련 자료의 Feedback을 통하여 사고원인 Database를 구축함으로써 사고 원인을 해석·분류하여 체계적으로 안전관리를 강화함으로써 동종 사고 및 중대사고를 사전에 예방할 수 있을 것이다.

## 감 사

본 논문은 한국가스안전공사의 지원과 2000년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었으므로 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) AIChE/CCPS, "Guidelines for investigating Chemical Process Incidents" CCPS, American Institute of Chemical Engineer New York (ISBN 0-8169-0555-X), 1992
- 2) AIChE/CCPS "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis" CCPS, American Institute of Chemical Engineer New York (ISBN 0-8169-0402-2), 1989
- 3) Jens Rasmussen, Keith Duncan and Jacques Leplat. "New Technology and Human Error", JOHN&SONS (ISBN 0-471-91044-9)
- 4) 김화수, 조용범, 최중욱(1995). "전문가 시스템", 집문당 (ISBN 89 - 303 - 0280 - 7)
- 5) 서울산업대학교 안전과학연구소, "화재·폭발 위험물질의 위험성 평가 방법에 관한 학술연구 용역", 1995
- 6) 한국산업안전공단, 산업안전연구원, "중대 산업사고 사고사고사례 데이터베이스 구축에 관한 연구", 1998
- 7) 한국산업안전공단, "산업재해조사표 코드 분류집", 1996
- 8) 한국가스안전공사, "가스사고연감", 1998
- 9) 한국가스안전공사, "가스사고연감", 1999
- 10) 한국가스안전공사, "사고조사 전문 과정"
- 11) 한국산업안전공단, "LPG 저장 및 취급에 관한 안전매뉴얼", 1998
- 12) 한국산업안전공단, "중대산업사고 사례집", 1999