

전문가시스템 기법을 이용한 화재 원인진단
Diagnosis of Fire—Causes by using Expert System technique

정 국 삼* 김 두 현* 김 상 철*
Chung Kuk-Sam Kim Doo-Hyun Kim Sang-Chul

ABSTRACT

This paper presents a study on application of expert system technique for the diagnosis of fire-causes in plants.

A need is recognized for new methods to diagnose exactly the causes of fires without the help of the human experts. To cope with the difficulty, the expert system technique is applied to this area. The expert system suggested in this paper is developed to infer the causes of fires(or, ignition source) by using the information drawn from the circumstances in fire.

For the convenience of inference, ignition sources are classified into eight types ; electric spark, adiabatic compression, welding spark, material of high temperature, impact and friction, spontaneous ignition, naked fire, and static electricity.

The knowledge base is composed of the rule base and dynamic database, which contain the rules and facts obtained by the experience in this area, respectively. Both depth-first search and backward chaining schemes are used in reasoning process.

This expert system is written in an artificial intelligence language "PROLOG", and its availability is demonstrated through the case study.

1. 序 論

火災 原因診斷의 1차적인 목적은 火災事例를 면밀하게 분석하여 원인을 정확하게 診斷하는 것이며, 부차적으로는 이를 토대로 火災를 미연에 방지하여 인명과 재산상의 손실을 최소화하는 것이다. 火災의 원

인을 추출하여 착화원과 가연성물질과의 완전한 차단을 통하여 火災가 발생할 수 있는 상황을 부여하지 않는 것이 가장 바람직하나, 착화원과 가연성물질이 공존하는 현실에서는 실현하기가 어려운 방법이라 생각된다. 火災가 발생한 경우에는 가능한 한 빨리 진압하는 것이 최선책이라 할 수 있으며 이를 위하여 기존에

* 正 會 員 : 충북대학교 산업안전공학과

발생한 화재상황을 정확히 분석하므로서 유사화재의 재발을 방지하고자 하며, 火災 발생시 효과적으로 대처할 수 있는 방안을 강구하고자 한다. 기존화재의 주요 특징을 살펴보면 다음과 같다.¹⁾

- 1) 火災의 발생은 자연적인 발생보다는 인간의 실수나 판단착오 및 미숙런등으로 인하여 발생하는 火災가 전체 火災를 대표한다 해도 과언이 아닐 만큼 인위적인 요소는 火災에 있어 막대한 영향을 끼친다.
- 2) 火災를 예방할 수 있는 시스템(자동화재경보기, 가스누설경보기, 스프링클러 등)의 작동은 고의로 차단시키거나, 고장 후에도 보수수리를 하지 않고 그대로 방치하였다.
- 3) 火災 최초 발견자의 판단행동이 매우 느리고 火災에 대처하는 능력이 부족하여 火災가 이미 충분히 진행되어, 초기진화를 할 수 없었던 사례가 주종을 이룬다.

위의 특징에서처럼 대부분의 火災는 사전예방이 가능하며, 인간의 실수로 발생하는 火災를 방지하고 줄일 수 있는 최선의 방법은 기존의 火災를 철저히 분석하고 연구하여 충분한 대응책을 마련하는 것이다.

본 연구에서는 최근에 많은 관심을 불러 일으키고 있는 인공지능(Artificial Intelligence)의 한 분야인 專門家 시스템(Expert System) 기법을 이용하여 여러 火災를 경험한 專門家の 지식이나 규칙을 컴퓨터에 이식함으로써, 초보자도 專門家와 유사한 화재원인을 진단할 수 있고 전문적인 지식을 쉽게 습득할 수 있는 火災 原因診斷 專門家 시스템을 개발하고자 하였으며 이에 대한 연구로는 1989년에 김희천 등이 특수장소에 설치될 소방설비물의 최적시스템을 결정하는 모델을 專門家 시스템 기법을 이용하여 제시하였으며²⁾, 1989년도에 우에다가즈히코(上田和彦)가 화학공장에 있어서 사고원인 해석을 위한 專門家 시스템 기법을 적용하여 火災의 직접원인을 추론결과로서 제시하였으나³⁾ 이는 專門家 시스템에서 요구하는 기본적인 규칙을 통하여 추론하는 과정을 생략하였으며 각 인자간의 상관도분석을 통하여 화재원인의 경향을 구하고자 하였다. 이러한 연구는 엄밀한 의미에서 專門家 시스템이 추구하는 내용과는 다소 거리가 먼 것이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 專門家 시스템의 특징을 최

대한 살려 非專門家도 專門家처럼 화재원인을 정확하게 진단할 수 있는 火災 原因診斷 專門家 시스템을 개발하고자 생성규칙(ProductionRule)인 If-Then Rule을 이용하여 해의 추론에 필요한 사실(Facts)들을 축적하였다.⁴⁾ 火災 原因診斷 專門家 시스템은 지식베이스(Knowledge Base), 추론기관(Inference Engine), 인간-기계 연결기관(Man-Machine Interface)으로 구성되며, 역방향추론(Backward Reasoning) 및 깊이 우선탐색 구조(Depth-First Search Structure)를 갖는 專門家 시스템 개발언어인 PROLOG⁵⁻⁷⁾ 사용하였으며, 또한 專門家 시스템 개발도구(Expert System Development Tools)를 이용하였다. 아울러 추론시간을 짧게 하기 위하여 추론규칙에 우선순위를 두어 배치하였으며, 화재원인에 따른 독창적인 특징을 이용하여 탐색공간을 한정하는 기법을 사용하였다.

2 專門家 시스템의 구축

本 研究에서 구현된 火災 原因診斷 시스템의 구조는 Fig. 1과 같이⁸⁾ 지식베이스, 추론기관, 인간-기계 연결기관으로 구성되어 있다.

지식베이스는 데이터베이스와 규칙베이스 2개의 주요한 부분으로 구성되어 있고 데이터베이스는 火災가 일어난 장치의 종류, 가연성 물질, 장치의 상태에 대한 정보가 저장되어 있으며 이러한 데이터는 추론과정에서 최적의 火災原因을 도출해내게 되며 이것은 推論機關에 의해 진행하게 된다. 규칙베이스는 火災原因을 診斷하기 위하여 火災에 대한 일반적인 規則을 저장하게 된다.

推論機關은 專門家 시스템에 있어 중요한 부분을 이루고 있으며 인간-기계 연결기관을 통하여 專門家 시스템 사용자에게 의해 제공된 火災狀況과 데이터베이스에 있는 사실과 규칙을 제공받아 합리적인 解를 도출해내는 기구이다.

인간-기계 연결기관은 사용자와 專門家 시스템 사이의 통신매체로서 제공된다. 사용자는 火災原因을 診斷하기 위하여 專門家 시스템을 호출할 수 있으며 필요에 따라 지식베이스내에 있는 데이터와 規則을 갱신할 수 있다.

2.1 지식베이스

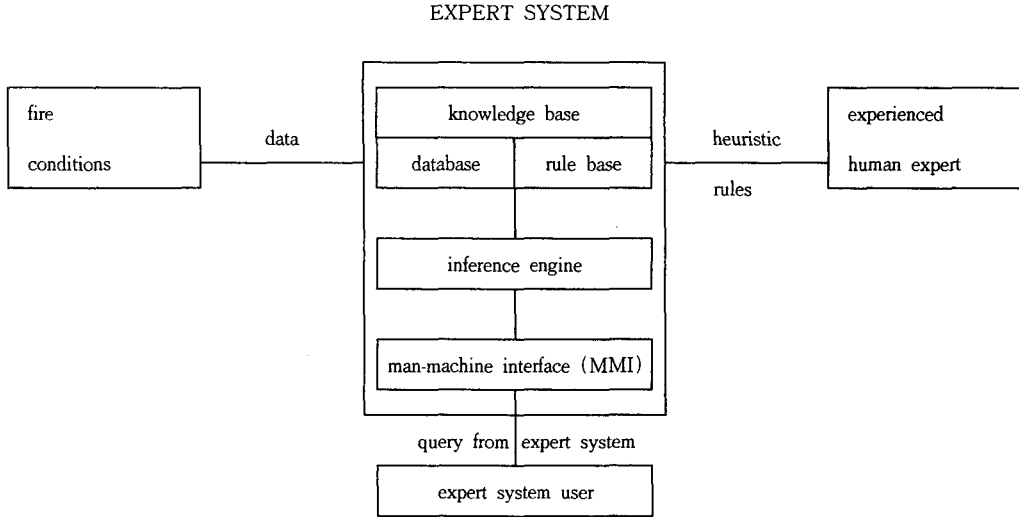


Fig. 1 Structure of the expert system for diagnosis of fire-causes in plants

지식베이스에는 일반적으로 규칙베이스와 데이터베이스로 구성되며, 본 연구에서는 解의 推論中에 변화되는 狀態에 대한 정보를 손쉽게 表現할 수 있는 동적 데이터베이스(Dynamic Date Base)를 사용하였다.

本 專門家 시스템의 지식베이스는 여러개의 트리로 구성되어 있으며 각 트리는 解를 推論하는 하나의 프로세스를 나타낸다. 각 트리는 여러 종류의 노드(node)로 결합되어 있으며 그 중 기본적인 노드는 다음과 같다.⁹⁾

And-node

And-node는 아래와 같은 형태의 規則으로 表現할 수 있다.

IF "condition 1" and "condition 2" and ... "condition N" THEN "do play"

Or-node

Or-node의 規則을 아래와 같이 表現할 수 있다.

IF "condition" THEN "play 1" ELSE "play 2"

질문노드와 대담노드

질문노드와 대담노드의 規則을 아래와 같이 表現할 수 있다.

IF "ask(X, Y, yes)" THEN "do Yes-Database"

ELSE "do No-Database"

(1) 규칙베이스

探索空間(Search space)에서 解의 探索을 제한하는 각종 規則들은 經驗的規則에서 얻어지며 지식을 表現하기 위한 가장 자연적인 형태인 생성규칙을 사용하였으며 이 生成規則을 모듈성(Mordularity), 증가성(Incrementability), 수정성(Modification), 투시성(Transparency)과 같은 뛰어난 특성을 지닌다.¹⁰⁾

PROLOG로 개발된 火災原因 診斷 시스템에서 사용된 규칙 중 주요한 規則을 예시하면 다음과 같다.¹¹⁾

규칙 1 : 화재가 發生하면 着火源의 대표적인 특성을 결정한다.

```
fire_is(electric_spark) :-
    positive(was_there,
    energized_material),
    kind_machine(electric_spark, _),
    kind_combus(electric_spark, _),
    job_status(electric_spark, _).
```

규칙 7 : 규칙 5를 만족하지 못하면 데이터베이스에 'yes'로 응답한 내용을 조사한다.

```
check_working_memory :-
```

```
wpositive(FireCause, _, By1),
ypositive(FireCause, _, By2),
retract(wpositive(FireCause, _, By1)),
retract(ypositive(FireCause, _, By2)),
semi_satisfied(FireCause, By1, By2),
ask("Please type on", "yes", yes),
fail.
```

규칙 9 : 새로운 화재事例에 대한 解를 구하고자 한다면 데이터베이스에 임시로 들어있는 내용을 제거하고 다시 수행한다.

```
clear_fact :-
    retract(xpositive(_, _)), fail.
```

(2) 동적 데이터베이스

PROLOG 언어는 데이터베이스내에 저장되어 있는 事實을 쉽게 본 프로그램내로 끌어들여 이용할 수 있는 기능을 갖고 있으며 동적 데이터베이스를 사용할 경우에는 내용의 접근뿐아니라 수정 및 삭제가 용이하다. 동적 데이터베이스에는 問題에 관련된 제반지식들 예를들면 火災의 種類, 火災裝置, 作業狀態, 可燃性物質 등 火災 전반에 대한 지식과 解의 탐색과정에서 狀態가 변화에 따라 계속적으로 변화하는 지식 등이 저장된다.

2.2 推論機關

推論機關은 問題解決을 위하여 지식베이스에 있는 規則과 事實을 연결하여 사용되며 사용자에게 의해 설계되어지고 새로운 사실을 얻기 위하여 생성규칙에서의 연역적추론을 통하여 상황에 적합한 해를 구하게 된다.

제안된 專門家 시스템에서는 火災原因 診斷 問題에 있어서 가장 건수가 높은 火災가 가장 높은 우선순위를 갖기 때문에 깊이 우선(Depth-First) 탐색기법을 사용하는데, 이는 火災原因 診斷을 해결함에 있어서 가장 효과적인 探索方法이다.¹²⁾

또 推論機關은 연속적이고 반복적인 탐색절차 (Recursive Search Procedure)를 취하고 있으며 후진 추론(Backtracking), 일치화(Pattern Matching or Unification), 나무형상자료구조(Tree Based Data Structure) 등에 관한 매우 강력한 능력을 보유하고 있는 PROLOG에 의하여 쉽게 구현된다.¹³⁾

3. 흐름도

3.1 시스템 FLOW-CHART

本 研究에서 개발된 火災原因 診斷을 推論하기 위한 專門家 시스템의 흐름도는 Fig. 2와 같으며 착화

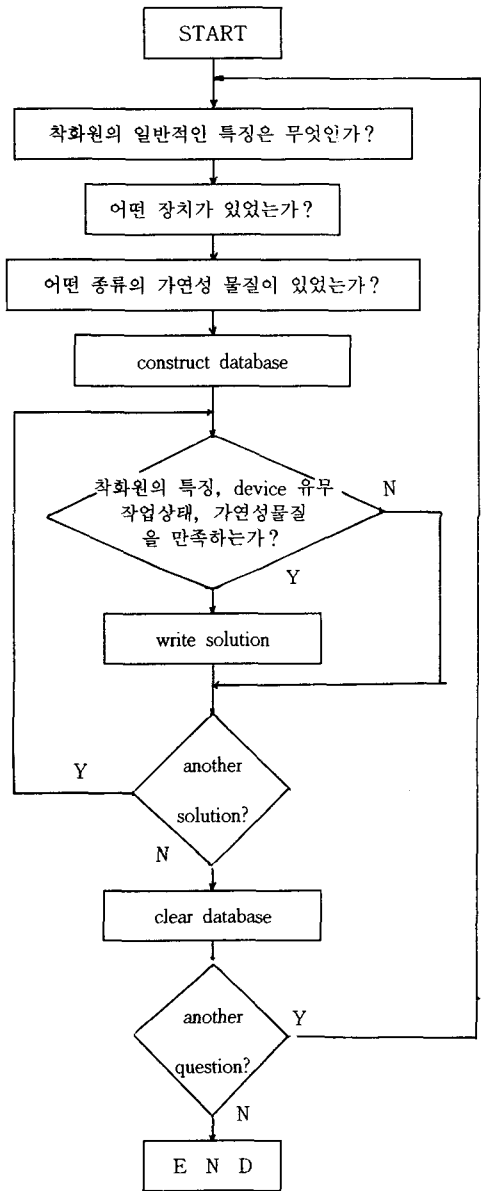


Fig. 2 Flow chart of the expert system for diagnosis of fire-causes in plants

원의 보편적이며 일반적인 특징, 火災가 發生했던 장치의 종류 및 특성, 가연성물질의 종류등을 질문하게 된다. 이 질문들에 대한 적합한 解를 구할 때까지 추

론기관을 통하여 반복해서 질문을 하게되며 여기서 만족한 사실을 얻을 경우, 데이터베이스에 저장되어 있는 사실들과 사용자가 구하고자 하는 사항과의 일치

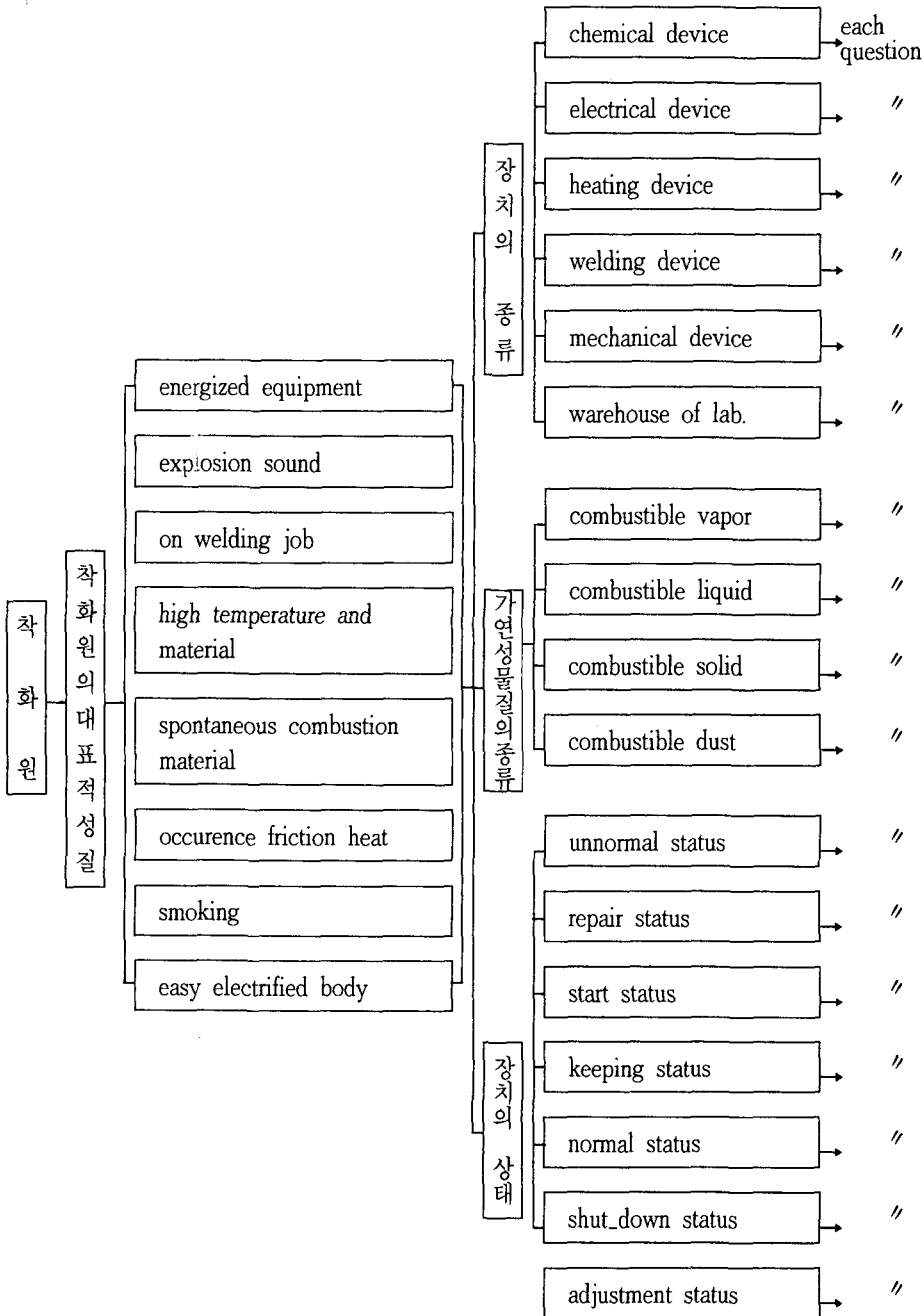


Fig. 3 Tree structure of the reasoning process

여부를 판단하게 되며 위의 질문 모두를 만족하는 경우에 있어서 火災原因에 대한 解를 구하게 된다.

또한 불확실한 경우에 있어서나 만족할 만한 解를 구하지 못한 경우에 있어서는 推論時間의 단축을 위하여 재차 똑같은 질문을 하지 않으며 이미 기억되어 있는 내용을 가지고 우선순위에 입각하여 데이터베이스에 저장되어 있는 추론된 사실들로서 火災原因을 진단하게 된다.

3.2 推論制御 흐름과 트리構造

火災原因診斷에 있어 解의 推論을 체계적으로 구축하기 위하여 추론과정을 착화원의 대표적성질로 구분하여 8개의 범주(category)로 나누었으며 하나의 대표적 성질이 결정되면 장치의 종류, 가연성물질의 종류, 장치의 상태를 각 부분별로 질문하게 된다. 이에 대한 것을 트리구조로 예시하면 Fig. 3과 같다.

4. 事例研究 및 考察

本 專門家 시스템의 효용성을 검증하기 위하여 여러가지 火災에 대한 시나리오를 작성하여 事例研究를 수행하였다. 그중 중요한 事例들을 제시하면 다음과 같다.¹⁾

4.1 解가 確實한 境遇

事例 1 : 보일러실에 경유를 주입중에 있었으나 불탑이 작동하지 않아 경유가 흘러 넘쳤으며 보일러를 가동시키는 전선이 낡아서 그 곳에서 전선합선이 일어났음, 또한 7월중이라 주위의 온도도 매우 높았음.

```

was_there energized_equipment?
y
was_there chemical_device?
n
was_there electrical_device?
y
was_there on_discharger?
n
was_there electric_wire?
y
was_there combustible_vapor?
n
was_there combustible_liquid?
y

```

```

was_there kerosene?
y
was_there unnormal_status?
y
was_there break_balltop?
y

```

```

Fire cause may be[electric_spark] by the
electrical_device=====electric_wire
combustible_liquid=====kerosene
unnormal_status=====break_balltop

```

Fig. 4 Computer output of case 1

4.2 解가 不確實한 境遇

事例 2 : 火災가 난 작업장은 섬유제조 工場으로서 분진상태의 섬유 부스러기가 항상 상존해 있었으며, 형광등에도 많은 분진이 쌓여 있었음. 천정은 可燃性物質로 되어 있으며 火災가 난 작업장에서 평소리와 함께 火災가 발생함.

```

was_there energized_equipment?
y
was_there chemical_device?
n
was_there electrical_device?
y
was_there on_discharger?
n
was_there electric_wire?
n
was_there fluorescent_chalk?
y
was_there combustible_vapor?
n
was_there combustible_liquid?
n
was_there combustible_solid?
n
was_there combustible_dust?
y
was_there dust?
y
was_there unnormal_status?
n
was_there repair_status?
n
was_there start_status?
n
was_there keeping_status?
n

```

```

was_there normal_status?
n
was_there shut_down_status?
n
was_there adjustment_status?
n
did_hear explosion_sound?
n
was_there on_welding_job?
n
was_there high_temperature_and_material?
n
was_there spontaneous_combustion_material?
n
was_there occurrence_friction_heat?
y
was_there chemical_device?
n
was_there electrical_device?
n
was_there heating_device?
n
was_there welding_device?
n
was_there mechanical_device?
y
was_there on_motor?
y
was_there combustible_vapor?
n
was_there combustible_liquid?
n
was_there combustible_solid?
n
was_there combustible_dust?
y
was_there dust?
y
was_there unnormal_status?
n
was_there repair_status?
n
was_there start_status?
n
was_there keeping_status?
n

```

```

was_there normal_status?
n
was_there shut_down_status?
n
was_there adjustment_status?
n
was_there smoking?
n
was_there easy_electrified_body?
n

```

```

Fire cause may be[electric_spark] by the
electrical_device====fluorescent_chalk
combustible_dust====dust
Please type on yes?
y

```

```

Fire cause may be[impact_and_friction] by the
mechanical_device====on_motor
combustible_dust====dust

```

Fig. 4 Computer output of case 2

事例 3 : 火災가 난 장치는 LPG Tank의 드레인 포트(Drian Pot)로서 드레인 포트의 밸브가 열려 이곳에서 압력이 발생하여 용접부위가 파손되었다. 이곳을 통하여 액상의 LPG가스가 기화되어 火災가 발생함.

```

解 : Fire cause may be [adiabatic_compression] by the
chemical_device=====drain_port_plant
combustible_vapor=====lp_gas
unnormal_status=====drain_port_compress_occurrence

```

```

解 : Fire cause may be [static_electricity] by the
chemical_device=====drain_port_plant
combustible_vapor=====lp_gas
unnormal_status=====occurrence_static_electricity_at_
the_drain_valve

```

전술한 바와 같이 火災發生에 있어 복잡한 상황이 도출된 경우에는 확정적인 解를 구하는 것이 쉽지 않으나, 本 研究에서는 가능성 있는 여러 解를 제시하도록 개발하여 상황이 미묘하고 복잡한 事例에 대해서도 각 着火源의 특징을 파악하여 합리적이고 체계적인 解를 얻을 수 있는 가능성을 제시하였다. 또한 火

災 鑑識專門家의 經驗的規則을 직접 대하지 못하는 데 따른 경험적한계성을 극복할 수 없었으며, 화재의 전이나 연속성은 고려하지 않고 火災가 처음 발생한 상황에 있어서의 火災原因만을 診斷하고자 하였다.

5. 結 論

人工知能의 한 분야인 專門家 시스템 기법을 도입하여 火災의 原因을 診斷하고자 하였으며 본 연구에서 제안된 시스템을 통하여 事例研究 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 다양한 火災原因을 專門家나 火災鑑識者에 의하지 않고서도 非專門家가 쉽게 診斷할 수 있는 시스템을 구축하였다.
- 2) 火災事例를 수집하여 이를 규칙베이스화 하였으며 새로운 사실에 대한 경험은 시스템에 쉽게 추가할 수 있게 하였다.
- 3) 火災原因이 모호한 경우에 있어서도 여러가지 火災原因을 진단할 수 있도록 개발하였다.
- 4) 火災原因을 추론하는데 있어 우선순위에 의해 배치된 규칙에 의하여 각 着火源을 특징별로 분류시킴으로써 專門家 시스템 내에서의 추론과정을 단축시키는데 주력하였다.

參考文獻

- 1) 한국화재보험협회, “火災事例 제 3~6 집”, 1986~1991
- 2) 김 희천, “소방법규 해석에 대한 Expert System의 적용”, 한국화재학회지, 3(3), pp. 9~13, 1989

- 3) 上田和彦, “化學工場における 事故原因解析のためのエキスパートシステムの構築”, 安全工學, Vol. 29, No. 3, pp. 175~181, 1990
- 4) R. Davis, D.B. Lenat, “Knowledge-Based System in Artificial Intelligence”, McGraw-Hill. 1982
- 5) I. Bratko, “PROLOG Programming for Artificial Intelligence” Addison-Wesley Publishing Company, 1986
- 6) F. Kiuzniak, “PROLOG for Programmers”, Academic press, 1985
- 7) Borland, “Turbo PROLOG”, 1986
- 8) P.M. Mahoudeauxs, “Maintaining Consistency of a Database During Monitoring of an Evolving Process by a Knowledge-Based System”, IEEE Transaction on System, Man, and, cybernetics, Vol. 21, No. 1, pp. 47~60, 1991
- 9) C.A. Protopapas, “An Expert System for Substation Fault Diagnosis and Alarm Processing”, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, pp. 648~655, 1991
- 10) 김 두현, “무효전력/전압 제어를 위한 전문가시스템”, 박사학위논문, 서울대학교, 1991
- 11) B.G. Buchanan, E.H. Shortliffe. “Rule-Based Expert system”, Addison-Wesley, 1984
- 12) N.J. Nilsson, “Principles of artificial Intelligence”, Springer-Verlag, 1980
- 13) A.K. David, “An Expert System with Fuzzy Sets for Optimal Planning”, IEEE Transactions on Power System, Vol. 6, No. 1, pp. 59~65, 1991