

**퍼지가능성 척도를 이용한 전기화재 원인진단 시스템의 구축
Construction of Diagnosis System for Electric–fire Causes
using Fuzzy Possibility Measure**

김 두 현*

Doo-Hyun Kim Sang-Chul Kim

김 상 철**

ABSTRACT

This paper presents a study on the knowledge based system for diagnosing the fire causes using the Fuzzy Possibility Measure(FPM) about the electric–fire ignition.

The ignition values needed for causes diagnosis is computed as FPM for electric–fire ignition based on the internal scale technique that assigns numerically the characteristic difference of facts to the linear scale.

For the convenience of inference, ignition sources are classified into seven types; short, ground fault, leakage of electricity, overcurrent, cord junction overheating, bad insulation and spark.

The system for causes diagnosis of electric–fire is composed of Knowledge Acquisition System, Inference Engine and Man-Machine Interface.

The diagnosis system is written in an artificial intelligence language “PROLOG” which uses depth-first search and backward chaining schemes in reasoning process.

* 종신회원 : 충북대학교 산업안전공학과

** 충북대학교 산업안전공학과 대학원

1. 서 론

우리의 일상생활을 보다 편리하게 하여주는 전기기기가 급속히 보급됨에 따라 기기의 사용도 아울러 증가추세에 있다. 통계자료에 따르면 전기에 인한 화재가 전체 화재 발생 건수의 33.6%로 그 발생비율이 다른 화재에 비해 가장 높은 것으로 나타나 있다. 이 것은 경제성장과 생활향상에 따른 전기사용의 증가와 220[V]로의 승압에 따른 누전 사고 등의 증가가 그 이유인 것으로 보이는데 전기로 인한 화재의 원인을 살펴보면, 대부분의 경우가 전기사용자의 미숙과 부주의가 그 원인이었음을 알게된다. 전기화재는 그양상이 매우 다양하며, 또한 그 원인이 대부분 정확하게 규명되기 어렵기 때문에 원인을 계통적으로 분류함에는 상당한 곤란이 뒤따른다.

본 연구에서는 인공지능(Artificial Intelligence)의 분야인 지식기반 시스템(Knowledge Based System)을 이용하여 여러 화재를 경험한 전문가의 지식이나 규칙을 컴퓨터에 이식함으로써, 초보자도 전문가와 유사한 화재원인을 진단할 수 있고 전문적인 지식을 쉽게 습득할 수 있는 전기화재 진단 시스템을 개발하고자 하였으며 이에 대한 연구로는 1989년도에 우에다가즈히코(上田和彦)가⁽¹⁾ 화학공장에 있어서 사고원인 해석을 위한 전문가시스템 기법을 적용하여 화재의 직접원인을 추론결과로서 제시하였으나 이는 전문가 시스템에서 요구하는 기본적인 규칙을 통하여 추론하는 과정을 생략하였으며 각 인자 간의 상관도분석을 통하여 화재원인의 경향을 구하고자 하였다. 또한 1992년에 김두현 외 2명이⁽²⁾ 작성한 화재원인 진단 전문가 시스템은 사례별로 모은 화재사실만을 데이터베이스에 저장하여 해를 구하는 기법을 사용하였다. 이러한 시스템은 새로운 화재상황이 발생했을 경우에 있어 원하는 해를 찾을 수 없었으며 단정적인 해만을 구할 수 있었다.

이에 본 연구에서는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 기존의 전기화재에 대한 성향을 철저히 분석하고 누구나 쉽게 화재원인을 도출할 수 있는 도구를 제공함으로써 전기에 대한 화재를 방지하고 줄일

수 있는 화재 원인진단 시스템을 개발하고자 생성규칙(Production Rule)인 If-Then Rule을 이용하여 해의 추론에 필요한 규칙(Rules)들을 축적하였다.

따라서 본 연구에서는 전기화재 원인을 크게 두가지로 분류하여 작성하였으며 하나는 발화에 이르게 된 경과를 기준으로 한 발생요인별 분류와 다른하나는 발화의 원인이 된 구체적 물체를 지칭하는 장치별로 분류하였다. 각 장치별에 대한 칙화원이 가질 수 있는 멤버쉽(member ship)의 값은 측정대상인 상황의 특성차이를 선형적인 scale상에 수량적으로 할당하여 전기화재 칙화원에 대한 가능성척도를 나타나게 하였으며 선택된 값을⁽³⁾ 각 칙화원에 대한 membership값으로 하여 데이터베이스(database)에 저장하였다.

아울러 복잡한 원인의 화재나 단순한 원인이 되는 화재의 진단에 있어서도 효과적인 시스템을 개발하기 위하여 전문가 시스템 개발도구 (Expert System Development Tools)를 사용하였고, 초보자도 본 시스템을 이용하여 화재의 인자를 쉽게 도출할 수 있도록 pop-up menu 방식을 이용하였다.

2. 지식기반 시스템의 구축

본 연구에서 구현된 원인진단 시스템의 구조는 그림 1과 같이 지식획득 시스템, 추론기관, 인간-기계 연결기관으로 구성되어 있다.⁽⁴⁾

지식획득 시스템은 규칙관리기관, 동적 데이터베이스, 사실관리기관, 퍼지 지식베이스로 구성되어 있고, 추론시스템은 지식기반 시스템에 있어 중요한 부분을 이루고 있으며 추론기관과 반복관리기관(Review Management Module)으로 구성되어 있다. 인간-기계 연결기관은 사용자와 지식기반시스템 사이의 통신매체로서 제공된다. 사용자는 화재원인을 진단하기 위하여 지식기반 시스템을 호출할 수 있으며 필요에 따라 지식베이스내에 있는 데이터와 규칙을 갱신할 수 있다.

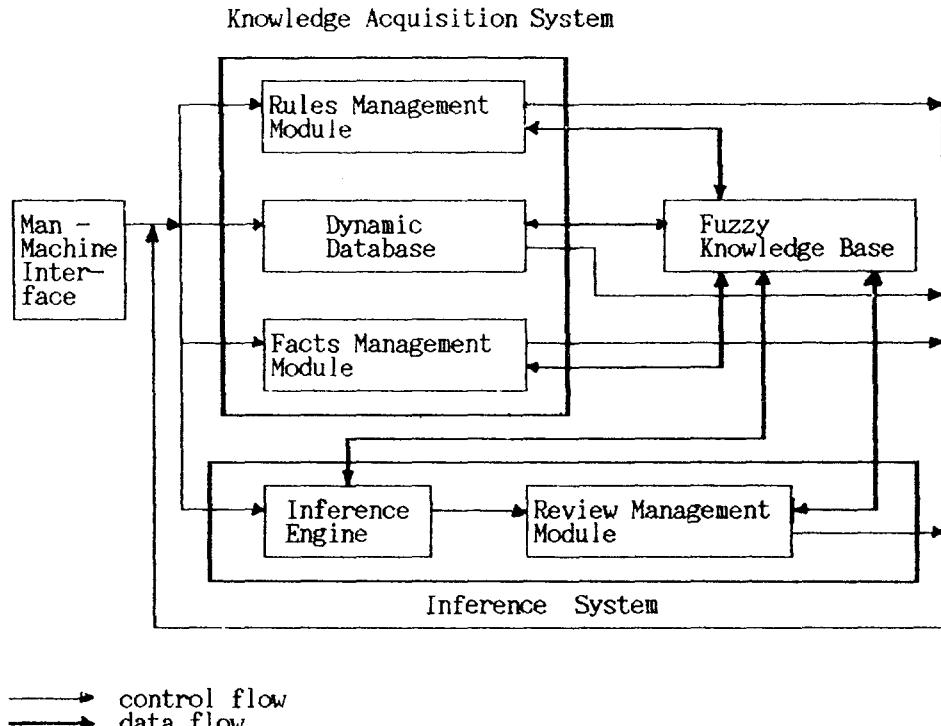


Fig. 1 Architecture the Knowledge based system

2.1 규칙(Rules) 관리기관⁽⁵⁾

탐색공간에서 해의 탐색을 도우는 각종 규칙들은 경험적 규칙에서 얻어지며 지식을 표현하기 위한 가장 자연적인 형태인 생성규칙(IF-Then Rule)을 사용하였다. 규칙의 조건부는 단일명제 또는 AND와 OR로 연결된 두개 또는 그이상의 명제들로 구성되어져 있으며, 결론부는 AND로 연결된 한개 또는 그이상의 명제들로 구성되어진다.

아래에 예시한 규칙한 본 연구에서 사용된 규칙들의 일부분이다.

규칙 1 : IF wiring exist AND distribution Line, element of wiring class, exist

THEN write the distribution line, ignition source, as fire cause.

FINAL VALUE—short 0.71

규칙 2 : IF moving-heater exist AND electric-iron, element of moving-heater class, exist

THEN write the electric-iron, ignition source, as fire cause.

FINAL VALUE—junction-heat 0.68

2.2 사실(Facts) 관리기관⁽⁶⁾

화재 현장에서 나타나는 화재의 상흔이나 혼적들의 모든 주변 사실들을 관리하는 기관으로서 각 화재 현장에서 추출한 사실들과 데이터베이스에 저장되어

있는 사실들을 확인한 다음 일치하는 사항에 대하여는 규칙관리기관으로 정보를 전송하게 된다.

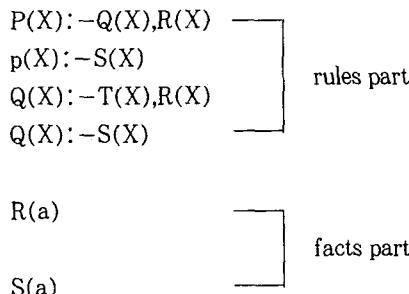


Fig. 2 Example of facts management module

그림 2와 같이 prolog 프로그램에 대하여 $P(a)$ 와 같은 질의가 요구되면 본 연구에서 수행되는 질의 처리 방법을 두가지 관점에서 바라볼 수 있다.

그 하나는 분해(resolution)의 관점에서 보는 것으로서 우선 질의의 역, 즉 $\text{not } P(a)$ 를 참이라고 가정하고, 주어진 프로그램에 나타난 규칙들과 사실들과의 분해과정을 통해 모순(contradiction)을 유도하게 된다. 만약 모순이 발견되면, $\text{not } P(a)$ 라는 가정이 잘못된 것이므로 $P(a)$ 는 참이라는 결론을 얻을 수 있다.

다른 하나는 절차(procedure) 호출의 관점에서 보는 것으로서 우선 주어진 질의의 $P(a)$ 라는 절차의 부 절차들로 간주하고 그 절차들을 호출한다. 계속해서 $Q(a), R(a), S(a)$ 들은 각기 자기의 부 절차들을 호출하게 된다. 그러한 순환적인 과정을 계속하다가 프로그램에서 사실로 추어진 절차를 만나면 참이나 거짓을 반환(return)한다. 이때 $P(a)$ 절차까지 도달되는 변화값이 질의에 대한 결론이 되는 것이다. 그림 3은 그림 2에 대한 트리구조이다.

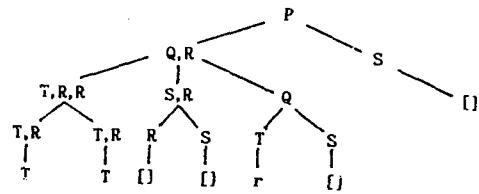


Fig. 3 The search tree for a goal P and fact of database

2.3 동적 데이터베이스(Dynamic Database)⁽⁷⁾

PROLOG언어는 데이터베이스내에 저장되어 있는 사실을 쉽게 본 프로그램내로 끌어들여 이용할 수 있는 기능을 갖고 있으며 동적 데이터베이스를 사용할 경우에는 내용의 접근 뿐 아니라 수정 및 삭제가 용이하다. 동적 데이터베이스에는 전기화재에 관련된 제반지식들이 발생요인별, 장치별 등 전기화재 전반에 대한 지식과, 해의 탐색과정에서 상태가 변함에 따라 계속적으로 변화하는 지식이 저장된다.

동적 데이터베이스는 하나의 해를 탐색과정에서 상태가 변함에 따라 계속적으로 변화하는 지식이 저장된다.

동적 데이터베이스는 하나의 해를 구하고 다른 해를 구하고자 할 경우에 바로전의 내용들은 지워지게 된다.

2. 4 퍼지지식베이스

퍼지지식베이스는 규칙, 사실, 그리고 지식베이스 퍼지항목들을 저장하기 위하여 있으며 지식획득 시스템을 통하여 얻어질 수 있다. 이러한 지식들의 속성은 전문가적인 속성을 표현하기도 하며, 구축되어 있는 시스템을 수행하기 위한 추론엔진에 유용한 정보를 제공하기도 한다.

퍼지지식베이스는 퍼지항목으로 표현되는 퍼지집

합을 저장할 수 있다는 것이 최대한의 독특한 특징으로 되어 있다. 각각의 퍼지집합은 멤버쉽(possibility values)의 값으로 표현된 숫자들의 리스트(list)로서 구성되어 진다. 본 프로그램에서 작성한 퍼지지식베이스의 내용은 그림 4에 나타나 있다.

```

levlone(["wiring", "moving_heater", "fixed_heater", "electricun it", "electric_apparatus", "wire_devices", "static_spark"])
wiring(["distribution_line", "interior_wire",
        "lead_wire", "cord_jonint_line", "outdoor_wire"])
possible_factor(["short", "earth_short", "leakage_electricity", "overcurrent", "junction_heat", "bad_insulation", "spark"])
possibility("distribution_line", [0.71,0.33,0.49,0.57,0.5,0.4,0.34])
possibility("motor", [0.84,0.29,0.45,0.72,0.6,0.77,0.54])

```

Fig. 4 Content of fuzzy knowledge based

2.5 추론기관⁽⁴⁾

추론기관은 지식기반 시스템에 있어 중요한 부분을 이루고 있으며 퍼지지식베이스를 통하여 사용자에 의해 제공된 사실과 규칙들을 제공받아 합리적인 해를 도출해 내는 기구이다.

아래 내용은 본 연구에서 구현한 prolog 프로그램의 추론과정을 나타낸 것이다.

rule:	$r_1 - \text{if } A_1 \text{ then } C$
	$r_2 - \text{if } A_2 \text{ then } C$
facts:	$- A'_1, A'_2$

conclusion: C_R , obtained from	
$- C'$	(FN_1)
$- C''$	(FN_2)

여기서

r_1, r_2	: 규칙코드
A_1, A_2	: 조건부 명제
C	: 결론부 명제
C', C''	: 규칙 r_1 과 r_2 에서 얻어진 결론
FN_1, FN_2	: 결론의 퍼지 불확실성

3. 실험

설문내용은 전기화재를 일으키는 착화원에 대한 인식도로서 전기 및 산업안전을 전공한 학생들에게 평가대상을 작성하게 하였다. 각 상황에 대한 평가항목은 배전선등 36가지 였으며 각 항목별 착화원은 7가지로 분리하여 개별적으로 평가하였다. 그림 5는 본 연구에 사용된 설문지의 예를 나타낸 것이다.

발생요인별	장치별	발	화	원
배	선	배전선	단락(), 지락(), 누전(), 과	
선			전류() 접속부과열(), 절연	
			불량(2), 스파크()	
'예' ⑩매우매우높다 ⑨매우높다 ⑧높다 ⑦조금높다				
⑥보통 ⑤조금낮다 ④낮다 ③아주낮다 ②아주				
아주낮다 ①관계없다				

Fig. 5 Example of question for ignition

그림 6은 발생요인별 분류의 하나인 배선의 장치별에 대한 배전선의 착화원에 대한 가능성 값들의 분포를 보여주고 있다.

4. 시스템흐름도

본 연구에서 개발된 전기화재 원인진단을 추론하기 위한 지식기반 시스템의 흐름도는 그림 5와 같으며 화재의 발생요인별 및 장치별로 질문하게 되며 여러 개의 상황이 있는 경우 반복해서 질문하게 된다.

이 질문들에 대하여 퍼지지식베이스에 저장되어 있는 사실들과 사용자가 구하고자 하는 사항과의 일치

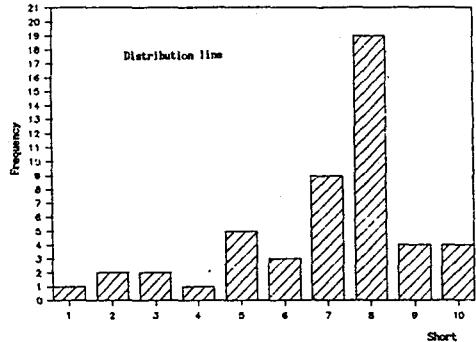


Fig. 6 Frequency bar chart for FPM of distribution - line

여부를 판단하게 되며 위의 질문 모두를 만족하는 경우에 있어서 각 화재원인의 착화원에 대한 퍼지 가능성의 값을 출력하게 된다. 또한 여러개의 퍼지 가능성이 값 중에서 본 화재에 대하여 가장 화재를 일으킬 확률이 높은 착화원에 대하여 최종적인 값을 제시하게 된다.

Fig. 7 Flow chart of the knowledge based system for diagnosis of electric-fire

5. 사례연구^(8,9,10,11,12,13)

본 지식기반 시스템의 효용성을 검증하기 위하여 여러가지 화재에 대한 시나리오를 작성하여 사례연구를 수행하였다. 그 중 중요한 사례들을 제시하면 다음과 같다.

5.1 발생요인별이 같은 경우

사례1 : 화재가 난 작업장은 섬유제조 공장의 기숙사로서 화재가 처음 발생한 주변에는 이동식 전열기와 전기장판이 불에 탔으며 화재 당시 이 두가지 모두 작동상태에 있었음.

what is it?:

moving_heater
What is the moving_heater ?
electric_stove
more ?

y
What is the moving_heater ?
electric_blanket
more ?

n

what is it?:

quit

《electric_blanket》
short:0.53
earth_short:0.19
leakage_electricity:0.57
overcurrent:0.6
junction_heat:0.64
bad_insulation:0.55
spark:0.63

《electric_stove》
short:0.81
earth_electricity:0.47
overcurrent:0.74
junction_heat:0.63
bad_insulation:0.53
spark:0.37

Largest value of electric_stove == 0.81

Largest value of electric_blanket == 0.64

The FINAL VALUE is short 0.81 by the electric_stove

Fig. 8 Computer output of case 1

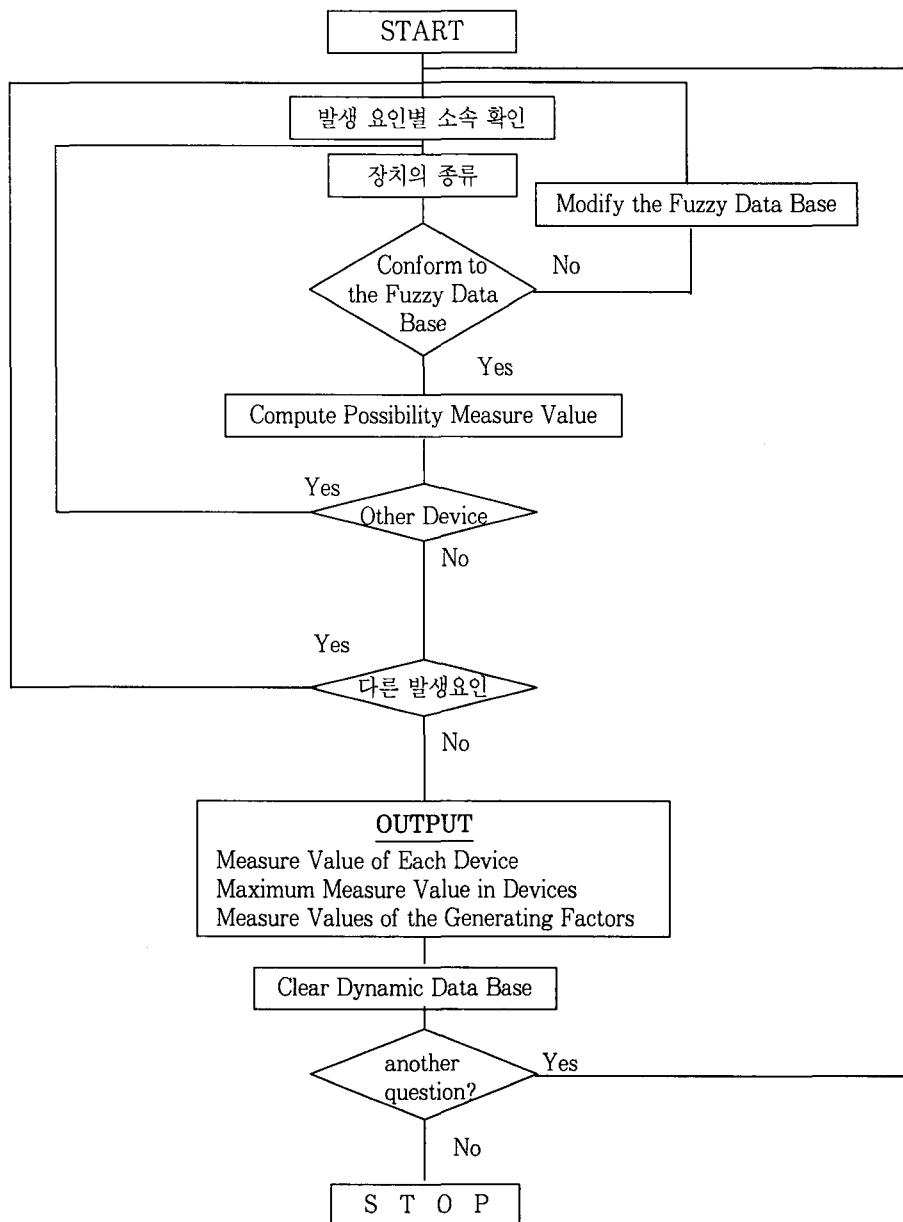


Fig. 7 Flow chart of the knowledge based system for diagnosis of electric-fire

5.2 발생요인별이 다른 경우

사례 2: platform위에서 용접작업자가 용접작업을 하고 있었으며 주위에는 납사가 미연소된 상태로 분무되고 있었고, 주위에는 유조차량이 기름저장 창고에 기름을 주입하고 있었음.

what is it?:

moving_heater

What is the moving_heater ?

electric_welding

more ?

n

what is it?:

static_spark

What is the static_spark ?

fluid_spark

more ?

n

what is it?:

quit

《fluid_spark》

short:0.55

earth_short:0.32

leakage_electricity:0.4

overcurrent:0.44

junction_heat:0.58

bad_insulation:0.7

spark:0.76

《electric_welding》

short:0.49

earth_short:0.26

leakage_electricity:0.51

overcurrent:0.63

junction_heat:0.58

bad_insulation:0.66

spark:0.48

Largest value of electric_welding === 0.66

Largest value of fluid_spark === 0.76

The FINAL VALUE is spark 0.76 by the fluid_spark

Fig. 9 Computer output of case 2

사례 3: 전기로에 경유를 주입중에 있었으나 불탑이 작동하지 않아 경유가 넘쳤으며 전기로를 가동시키는 전선도 매우 낡았음. 또한 회로차단기가 설치된지 오래되어 계속해서 과열되어 있는 상태로 있었음.

what is it?:

fixed_heater

What is the fixed_heater ?

more ?

n

what is it?:

electric_unit

What is the electric_unit ?

breaker

more ?

n

what is it?:

quit

<<breaker>>

short:0.48

earth_short:0.29

leakage_electricity:0.54

overcurrent:0.53
 junction_heat:0.47
 bad_insulation:0.52
 spark:0.46

```
<<electric_furnace>>
short:0.56
earth_short:0.26
leakage_electricity:0.45
overcurrent:0.55
junction_heat:0.62
bad_insulation:0.51
spark:0.34
```

Largest value of electric_furnace == 0.62

Largest value of breaker == 0.54
 The FINAL VALUE is junction_heat 0.62 by
 the electric furnace

Fig. 10 Computer output of case 3

전술한 바와같이 전기 화재발생에 있어서는 화재원인을 정확히 파악한다는 것이 쉽지 않다는 것을 보여주고 있으나 본 연구에서는 가능성있는 여러가지의 원인들의 값을 도출함으로서 비전문가 스스로가 화재에 대한 원인을 파악할수 있게 하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 각 착화원에 대한 퍼지가능성척도의 값은 전기화재 전문감식자에 의뢰한 것이 아니고 전기 및 산업안전을 전공한 학생에게 의뢰하여 실시하였기 때문에 전문감식자의 폭넓은 경험적사실을 직접대하지 못하느라 따른 한계성을 극복할 수 없었다.

6. 결론

본 논물은 전기화재 원인을 진단하기 위하여 전기화재 착화원에 대한 퍼지 가능성 값을 이용하여 인공지능의 한 분야 지식기반 시스템을 도입한 연구이다.

본 연구에서 사용된 퍼지가능성 값은 internal scale 기법을 이용하여 산정된 값으로 하였다.

본 연구에서 제안된 시스템을 통하여 사례연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

- 1) 다양한 화재원인을 전문가나 화재감식자에 의하지 않고서도 진단할 수 있는 시스템을 구축하였다.
- 2) 각각의 착화원에 대한 퍼지가능성 척도의 값을 제시함으로써 단정적인 화재원인을 찾는 것이 아니라 여러가지 가능성있는 값을 구할 수 있게 하였다.
- 3) 각 화재에 대한 원인이 모호한 경우에 있어 서도 여러가지 화재원인을 진단할 수 있도록 개발하였으며 최종적으로 최대한의 가능성이 높은 원인을 제시하였다.
- 4) 화재원인을 추론하는데 있어 발생요인별, 장치별에 따라 각 착화원을 분류시킴으로써 지식획득시스템 내에서의 추론과정을 단축시키는데 주력하였다.

참고문헌

- 1) 上田和彦, “化學工場にあける事故原因解析のためエキスパートシステム 강安全工學, Vol. 29, No.3, pp. 175 – 181, 1990
- 2) 김 두 현 외 2, “전문가시스템 기법을 이용한 화재 원인진단”, 한국산업 안전학회지, 제7권 제1호, pp. 31 – 38, 1992
- 3) W.karwowski, et al, “Fuzzy Modeling of Risk Factors for Industrial Accident Prevention: Some Empirical Results”, Application of Fuzzy Set Methodologies in industrial Engineering, pp. 141 – 153, 1989

- 4) K.S.Leung, W.Lam, "Fuzzy Concepts in Expert Systems", *IEEE Computer*, september pp. 43–55, 1988
- 5) K.S.Leung, Y.T.So, "Inconsistency in Fuzzy Rule-based Expert Systems", *proc. of the international Conference on Fuzzy Logic E Neural Network*, Vol. 2, pp. 849–852, 1990
- 6) T.P. Martin, et al, "The Implementation of FPROLOG – A Fuzzy Prolog Interpreter", *Fuzzy Sets and Systems* 23, pp. 119 – 129, 1987
- 7) 김 두 현, "무효전력/전압 제어를 위한 전문가시스템", 박사학위논문, 서울대학교, 1991
- 8) 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
- 9) R. Davis, D.B. Lenat, "Knowledge – Based System in Artificial Intelligence", McGraw – Hill, 1982
- 10) I. Bratko, "PROLOG Programming for Artificial Intelligence" Addison – Wesley Publishing Campany, 1986
- 11) Borland, "Turbo PROLOG", 1986
- 12) B.G. Buchanan, E.H. Shortliffe, "Rule – Based Expert system", Addison – Wesley, 1984
- 13) N.J. Nilsson, "Principles of artificial Intelligence", Springer – Verlag, 1980