

퍼지추론을 이용한 지식기반 전기화재 원인진단시스템

이종호[†] · 김두현

충북대학교 안전공학과

(2006. 2. 27. 접수 / 2006. 6. 14. 채택)

A Knowledge-based Electrical Fire Cause Diagnosis System using Fuzzy Reasoning

Jong-ho Lee[†] · Doo-hyun Kim

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received February 27, 2006 / Accepted June 14, 2006)

Abstract : This paper presents a knowledge-based electrical fire cause diagnosis system using the fuzzy reasoning. The cause diagnosis of electrical fires may be approached either by studying electric facilities or by investigating cause using precision instruments at the fire site. However, cause diagnosis methods for electrical fires haven't been systematized yet. The system focused on database(DB) construction and cause diagnosis can diagnose the causes of electrical fires easily and efficiently. The cause diagnosis system for the electrical fire was implemented with entity-relational DB systems using Access 2000, one of DB development tools. Visual Basic is used as a DB building tool. The inference to confirm fire causes is conducted on the knowledge-based by combined approach of a case-based and a rule-based reasoning. A case-based cause diagnosis is designed to match the newly occurred fire case with the past fire cases stored in a DB by a kind of pattern recognition. The rule-based cause diagnosis includes intelligent objects having fuzzy attributes and rules, and is used for handling knowledge about cause reasoning. A rule-based using a fuzzy reasoning has been adopted. To infer the results from fire signs, a fuzzy operation of Yager sum was adopted. The reasoning is conducted on the rule-based reasoning that a rule-based DB system built with many rules derived from the existing diagnosis methods and the expertise in fire investigation. The cause diagnosis system proposes the causes obtained from the diagnosis process and showed possibility of electrical fire causes.

Key Words : yager sum, electrical fire, electrical fire cause diagnosis, fuzzy reasoning

1. 서론

전기화재는 전체화재 중 매년 30%의 높은 비중을 차지하면서 인명피해나 재산상의 피해를 주고 있다. 이러한 전기화재를 감소시키기 위해서는 신뢰할 수 있는 원인분석과 규명에 초점을 맞추어 전기화재 원인 분석이 필요하다. 즉, 전기화재의 정확한 진단을 위해서는 조사자나 전문인력이 화재현장의 상태와 관련하여 다양한 유형의 정보를 수집하고 분석해야만 한다¹⁻³⁾. 화재현장의 다양한 정보들에는 우선 목격자, 건물의 개폐상태, 가연성 물질의 유무 등 현장

의 주변정황을 중심으로 초기에 조사할 수 있는 것도 있고, 특히 1차 용혼 등과 같이 화재원인을 특징 지을 수 있는 증거도 발견할 수 있다. 이렇게 다양한 정보들을 가지고 화재 원인을 진단하는 과정은 여러 형태의 논리적 단계, 경험, 과학적인 검증 등을 거치면서 상당히 복잡한 의사결정을 필요로 하게 된다⁴⁾. 이러한 의사결정은 명확히 구분되는 경우도 있으나 화재현장이 복잡하고 많은 경우 화재의 징후와 원인과의 관계가 확실하게 밝혀지지 않은 경우가 많은 실정이다. 따라서 명확한 전기화재 원인을 갖는 진단과정뿐만 아니라 특정하게 발견되는 징후들에 대한 진단을 위해서는 보다 논리적으로 신뢰성을 갖도록 추론할 수 있는 진단시스템이 필요하다. 그리고 진단과정에서도 이러한 특징을 갖는 정보에

[†] To whom correspondence should be addressed.
yijho@korea.com

대한 검색도 가능한 시스템이어야 한다. 그러므로 화재조사자나 관련 종사자들에게 원인진단에 도움이 될 수 있는 컴퓨터를 이용한 원인진단 시스템이 필요하다.

최근 전기화재의 원인진단, 감식에 대한 연구가 진행되고는 있으나 화재 현장 적용에는 미흡한 문제점을 갖고 있는 실정이다. 따라서 전기화재 현장에서 원인조사나 진단의 신뢰성을 높이기 위해서는 기존 사고사례를 바탕으로 한 진단과 전문가의 지식에 의한 진단을 혼합한 원인진단 시스템이 필요하다.

본 연구에서는 전기화재 원인을 진단할 수 있으며 화재 진단업무를 체계화할 수 있는 시스템을 제공하고자 한다. 즉, 과거의 사고사례를 이용한 사례베이스(Case base)와 화재징후와 원인으로 규칙을 추출하여 진단하는 규칙베이스(Rule base)로 지식베이스(Knowledge base)를 구성하여 원인진단을 실시함으로써 진단 결과를 상호보완하면서 신뢰성을 주고자 한다. 이 원인진단 시스템을 개발하기 위한 도구로는 DB를 구축하기 위해 MS Access 2002를 이용하고, DB 프로그래밍 언어로 Visual Basic 6.0을 이용한다.

2. 전기화재 지식베이스 구축

2.1. 사례베이스 구축

전기화재에 대한 원인을 진단하기 위한 방법으로 많이 사용하고 있는 사례베이스는 과거의 유사한 사례를 이용하여 원인을 진단하는 것이다. 즉 사고 사례를 이용한 사례베이스는 새로운 화재원인과 일치하는 과거의 원인을 적용하거나 새로운 상황을 설명하는 사례로부터 원인을 진단하기 위해서 기존의 사례를 기반으로 진단하여야 한다. 또한 사례베이스는 지식 획득이 용이하고 사례경험으로부터의 학습, 그리고 유사한 특징을 갖는 사례로 새로운 문제를 해결할 수 있어 적용성이 용이하다⁵⁾.

사례베이스를 구축하기 위해서 소방서 및 관련기관에서 수집된 화재발생종합보고서, 현장조사서, 문헌 등의 사고사례 및 자료를 중심으로 화재징후와 관련된 세부항목에 맞게 정리하여 DB를 구축하였다⁶⁾. 세부항목은 화재당시의 기본상황(날짜, 날씨, 화재 발생처종 등), 화재장소상황(연기·화염 발생유무, 건물개폐현황, 화재연소범위 등), 원인진단에 중요한 화재징후(배선징후, 화재인자, 배선 및 플러그상태

등), 그리고 화재원인으로 분류하였으며 이것을 기초로 작성자에 따른 용어의 차이점을 보완 및 객관성을 확립하면서 사례베이스를 구축하였다. 그러나 전기화재에 대한 진단을 하기 위해서 사례를 검색해야 하며, 많은 사고사례가 축적돼야 하는 문제점을 갖고 있다. 이를 보완하기 위해서는 규칙베이스를 구축하여 규칙추론 및 진단이 필요하다.

2.2. 규칙베이스 구축

규칙베이스는 원인진단이나 계획 등 다양한 형태의 전문가 시스템에서 널리 이용되고 있다. 또한 존재하고 있는 다른 규칙과 독립적으로 첨가, 수정, 삭제될 수 있는 지식 단위로 구분되는 모듈성이 있으며, 지식이 같은 형태로 표현되는 균일성이 있다. 그리고 지식을 표현하는데 자연스러운 형태를 제공하는 자연성이 있는 장점을 갖고 있어 전기화재의 원인진단에 적합한 추론을 구성할 수 있다⁷⁾.

규칙베이스는 전문가의 경험과 이론에 입각한 규칙을 추출하기 위해서 수집된 국립과학수사연구소 자료, 소방서 자료, 관련 문헌^{4,8,9)} 등을 이용하여 전기화재를 일으킬 수 있는 여러 상황과 화재징후들을 분석하였다. 이러한 화재감식에 대한 연구사항 및 전문가들의 전문적 지식과 경험을 바탕으로 가장 적합한 지식 및 규칙을 생성하여 규칙베이스를 구축하였다. 전문가의 경험적 지식을 이용한 규칙베이스는 명확하게 기술하기 어려운 문제가 있지만, 사례베이스와 함께 규칙베이스를 사용한다면 원인진단 결과를 상호보완할 수 있어 신뢰성있는 전기화재 원인진단을 가능하게 할 것이다. 규칙베이스에 필요한 자료 축적을 위해 경과별 화재원인 징후를 분류하였으며, 발화원에 따른 원인진단을 할 수 있도록 전기설비를 전기장치, 전열기기, 전기기기, 배선 및 배선기구로 분류하였다. 그리고 발화원에서 발생되거나 발생될 수 있는 규칙을 발화원별 원인

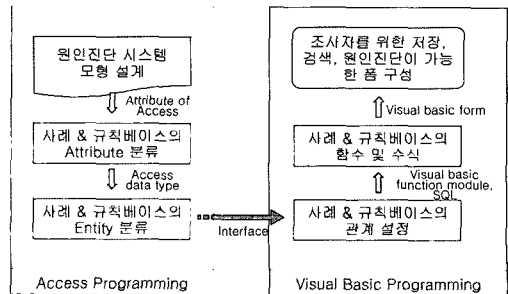


Fig. 1. Implementation of cause diagnosis DB system.

진단이 가능한 세부설비 43가지에 대하여 총 670여 개의 규칙을 추출하였다. 화재현장의 화재징후와 원인에 관한 애매모호한 지식을 처리할 수 있도록 퍼지 개념을 사용한다. Fig. 1은 사례베이스와 규칙베이스를 바탕으로 한 전기화재 원인진단 DB 흐름도를 보여주고 있으며 개발도구로는 Access와 Visual Basic를 이용하였다.

3. 퍼지추론 시스템

3.1. 퍼지규칙

전기화재의 원인진단을 위해 Zadeh 교수에 의해 제창된 퍼지이론을 도입하였다¹⁰⁾. 왜냐하면 전기화재 징후와 원인간의 애매함(Fuzziness)을 수리적으로 취급이 가능하도록 해주기 때문이다. 또한 전통적인 논리시스템보다 실제적으로 세계의 근사적이고 부정확한 성질을 표현하는데 효과적이기 때문이다. 퍼지이론을 바탕으로 퍼지추론을 이용한 전기화재 원인진단 시스템은 아직 정형화된 모델 연구가 확립되어 있지 않은 실정이다.

추론규칙은 전문가의 지식과 관련문헌 등의 자료를 바탕으로 규칙을 생성하는데 생성규칙은 “If 전건부 Then 후건부”의 형태로 기억되며 정성적인 언어로 표현된다. 이것은 작업공간의 문제, 중간 결과, 해 등의 데이터 속성들을 기억할 수 있어 규칙을 구성하는 입·출력 변수들을 선정하는데 유용하다. 규칙의 전건부는 만족되어야 하는 속성들의 논리곱(AND) 또는 논리합(OR)으로 표현되며, 전건부가 참일때 후건부가 수행된다. 퍼지추론을 이용하여 전기화재에 대한 원인을 진단하기 위해서는 방대한 규칙베이스를 구축하는 것이 필요하다. 즉 전기화재에 대한 규칙을 축적하기 위해서는 많은 자료수집이 다른 어떤 것보다도 중요하다. 전건부인 화재징후와 후건부인 원인을 선정하여 다입력-단일출력 구조의 형식을 갖는다.

- R_1 : If x_1 is A_1 and(or) x_2 is B_1 then w is C_1
- R_2 : If x_1 is A_2 and(or) x_2 is B_2 then w is C_2
-
- R_n : If x_1 is A_n and(or) x_2 is B_n then w is C_n

여기서 x_1, x_2 는 시스템의 전건부, w 는 후건부를 나타내고, A_i, B_i, C_i 들은 전체집합 U, V, W 에서 정의된 x_1, x_2, w 의 퍼지값 또는 퍼지집합을 나타낸다.

또한 개별적인 퍼지조건문들은 R_i 라는 퍼지관계로 대변될 수 있으며, 이것들이 모여서 퍼지추론 규칙 집합을 이룬다. 각 규칙을 퍼지관계를 이용하여 정의하면 식 (1)과 같다.

$$\mu_{R_i} \equiv \mu_{(A_i \text{ and } B_i \rightarrow C_i)}(U, V, W) = [\mu_{A_i}(U) \text{ and } \mu_{B_i}(V)] \rightarrow \mu_{C_i}(W) \quad (1)$$

여기서, A_i and B_i 는 전체집합 $U \times V$ 에서 정의된 퍼지값 $A_i \times B_i$ 으로 나타낼 수 있고 $R \equiv (A_i \text{ and } B_i) \rightarrow C_i (i=1, 2, \dots, n)$ 로 정의된다. ‘ \rightarrow ’ 기호는 유추관계를 나타내고 각각의 퍼지추론규칙들은 서로 관련을 갖고 조합하게 된다^{10,11)}.

3.2. 퍼지화 및 퍼지추론

전기화재에 대한 화재징후와 원인과의 규칙은 퍼지추론을 적용하기 위해 전문가의 의견 및 관련문헌 등을 수렴하여 퍼지화하였다. 전기화재의 원인 판별은 화재현장에서 감식된 징후의 유무에 따라 판별하기 때문에 화재징후를 퍼지 단일값으로 선정하여 퍼지화하였다. 즉, 전건부인 각 화재징후가 특정 화재원인에 관련된 정도인 소속함수를 부여하였다. 그리고 원인진단 추론은 축적된 규칙에서 징후와 원

Table 1. Membership functions of electric wires

코드	화재징후	소속함수값
C_01	시건 및 휴업상태	0.5
C_02	1차용흔(단락흔, 구형광택, 구형망울)	0.9
C_03	용융흔	0.8
C_04	V패턴	0.7
C_05	전선노후(절연열화)	0.7
C_06	배전선 취급불량(격입, 눌림, 문어발식)	0.8
C_07	물리적 배선 손상(동물)	0.6
C_08	배선에서 스파크 목격	0.9
C_09	배선 및 누전차단기 OFF	0.4
C_10	(메인)차단기 ON 상태	0.4
C_11	차단기 완전소실	0.3
C_12	합선음	0.5
C_13	부하기기 과다	0.7
C_14	전정부 탄화(전정부 소실)	0.8
C_15	누전경로 확인	0.9
C_16	발화부소실 및 주변 백화현상	0.6
C_17	콘센트 및 접속코드 탄화	0.7
C_18	발화점 확인	0.6

Table 2. Rules of electric wire

CR_01	If 시건 및 휴업상태 and 1차용흔 and 배선 및 누전차단기 off Then 단락
CR_02	If 1차용흔 and 전선노후 and 배선선 취급불량 and 차단기 완전소실 Then 단락
CR_03	If 용융흔 and 전선노후 and 배선 및 누전차단기 off 발화부소실 및 주변 백화현상 Then 단락
CR_04	If 1차용흔 and 전선노후 and 배선에서 스파크 목격 and 배선 및 누전차단기 off Then 단락
CR_05	If 배선선 취급불량 and 부하기기 과다 and 발화부 소실 및 주변 백화현상 Then 과부하
CR_06	If 시건 및 휴업상태 and 전선노후 and 차단기 on 상태 and 누전경로 확인 and 발화점 확인 Then 누전
⋮	⋮

인간의 불확실성과 화재징후의 많고 적음에 따라 그 신뢰성을 다르게 해야 하기 때문에 각 소속함수값을 이용하여 여러 가지 퍼지관계를 구축하였으며 이렇게 추출된 퍼지규칙으로 추론시스템을 구성하였다. 전기화재에서 주요 발화원을 차지하고 있는 배전선의 소속함수값을 Table 1에서 보여주고 있으며 퍼지관계로부터 추출된 규칙을 Table 2에서 보여주고 있다.

복잡한 화재현장에서 감식된 여러 가지 화재 징후들을 입력하여 특정 원인으로의 진단을 제시하는 퍼지추론은 많은 징후가 감식될수록 신뢰성있는 추론진단이 가능한 기법을 선정하였다. 퍼지추론기법으로 가장 많이 사용하고 있고 기법으로는 Mamdani's inference method, Larsen's product method 등이 있지만, 이러한 추론기법은 화재징후의 많고 적음에 상관없는 결과를 보여주고 있다. 또한 퍼지규칙에 관한 추론시 규칙의 가능척도에 대한 중속성이 너무 큰 결과를 보여주고 있어 원인진단에 적합하지 않은 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 화재현장에서 발견된 화재징후가 많을수록 진단결과의 신뢰성이 높일 수 있도록 중복된 징후나 감식된 모든 징후를 고려할 수 있는 Yager의 합연산을 도입하여 가중치를 부여하였다. 여러 개의 화재징후에서 선택된 규칙들의 원인 추론은 선택된 징후의 소속함수 최대값과 Yager 합연산에 의한 가중치를 곱한 결과값들을 비교하여 가장 높은 값에 해당하는 원인과 화재 가능성을 제시하여 진단결과의 신뢰성을 부여하였다. 식 (2)는 Yager 합연산 식을 보여주고 있다¹⁰⁾.

$$A \cup B = \{x, \mu_{A \cup B}(x) \mid x \in U\}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \min\{1, (\mu_A^w + \mu_B^w)^{1/w}\}, w \in (0, \infty) \quad (2)$$

4. 전기화재 원인진단 시스템

화재현장의 감식 증거들과 퍼지추론을 이용하여 전기화재 원인진단 시스템을 개발하였으며 시스템의 구성을 Fig. 2에서 보여주고 있다. 화재조사 자료를 바탕으로 사고사례에 관련된 징후는 사례 DB에 저장되고, 화재징후 및 속성으로 추출된 규칙들은 규칙 DB에 저장하였다. 이렇게 저장된 DB는 조사자가 화재현장에서 감식된 화재징후들을 이용하여 사례기반 모듈과 규칙기반 모듈에서 원인진단을 실시하여 화재의 원인을 추론하게 된다.

전기화재 원인진단 시스템의 구성은 파일, 전기화재DB, 전기화재원인진단, DB관리, 보고서, 도움말로 구성되어 있으며, 초기화면은 원인진단과 사례베이스 DB로 구성되어 있다. Fig. 3은 시스템의 메인화면을 보여주고 있으며, 원인진단은 사례기반 원인진단과 규칙기반 원인진단으로 구성되어 있다. 사례기반은 전기화재 조사를 위한 분류체계⁶⁾를 바탕으로 화재현장의 원인조사에 필요한 세부적이고 체계적인 항목들을 입력하게 된다. 그리고 새롭게 발견된 징후에 대해서는 추가-삭제 등의 수정이 가능한 것을 Fig. 4에서 보여주고 있다.

본 시스템의 메인화면에서 원인진단을 선택한 후 사례기반 진단을 선택하면 원인분석에 필요한 주요 항목인 발화원, 배선 및 플러그 상태, 차단기 및 퓨즈상태, 화재인자로부터 과거의 사고사례와 유사한 사례의 결과를 도출할 수 있도록 Fig. 5에서 보여주고 있다.

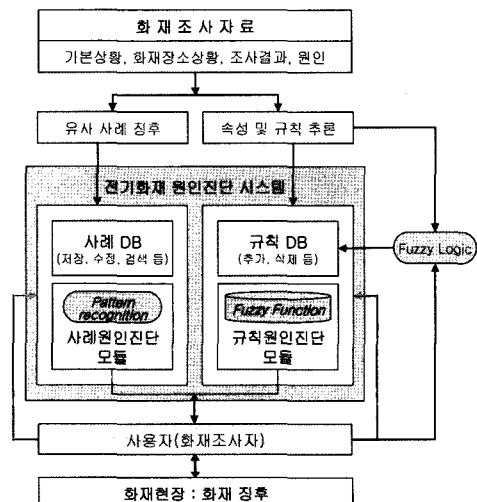


Fig. 2. Electric fire cause diagnosis system.

규칙기반 원인진단은 경과별 원인진단과 발화원별 원인진단으로 구성하였다. 전자인 경과별 원인진단은 화재의 원인이 될 수 있는 특징적인 사항들로 구성되어 있으며 화재현장에서 발견된 일반적인 화재징후들로 전기화재의 1차적 원인을 간편하게 판별할 수 있게 하였다. 후자인 발화원별 원인진단은 화재현장의 상황을 판단하여 발화부위에 있는 발화원의 통전상태를 확인한다. 만약 통전상태가 확인이 안 될 경우 취소 버튼을 누르고 다른 발화원을 선택하여 진단을 계속해야 한다. 선택된 발화원이 통전상태인 경우 발화원에서 발견된 화재징후를 다중 선택한 후 진단버튼을 누르면 퍼지추론 결과인 화재원인과 그 가능성이 도출된다. 따라서 전기화재에 대하여 감식된 화재징후들을 이용하여 과거의 유사한 사례로부터 원인진단을 실시하고, 규칙기반에서 진단을 실시함으로써 원인진단의 객관성을 확보와 진단 결과에 대한 상호보완으로 신뢰성있는 화재의 원인을 추론할 수 있게 하였다.

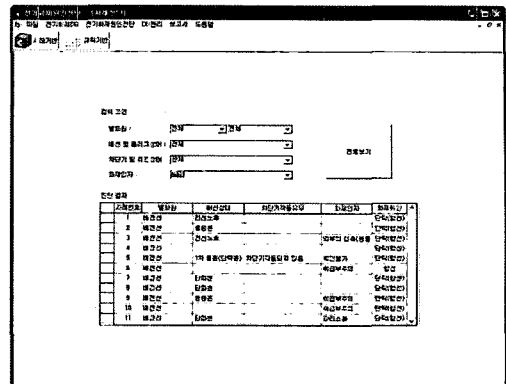


Fig. 5. Cause diagnosis screen of case-based.

시스템의 원인진단의 신뢰성을 살펴보기 위해 실제 화재 현장에서 수집된 정보를 이용하여 Fig. 6과 Fig. 7에서 원인진단 결과를 보여주고 있다. 화재현장의 감식 정보는 다음과 같다. “(목격자)사무실 옆에서 ‘파직파직’하는 소리를 들음, (현장)전선이 지

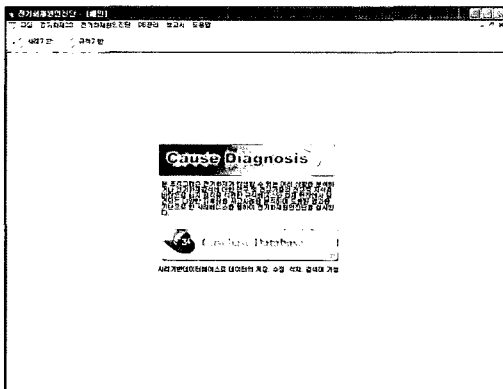


Fig. 3. Main screen of electric fire cause diagnosis system.

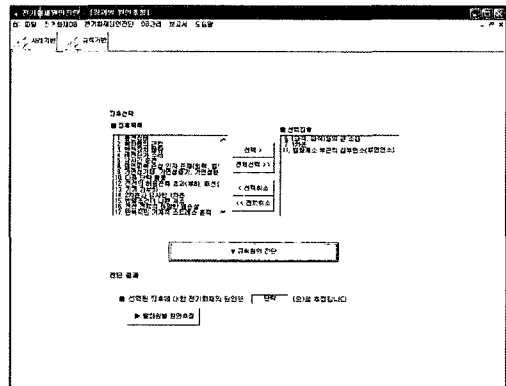


Fig. 6. Rule-based cause diagnosis screen according to elapse.

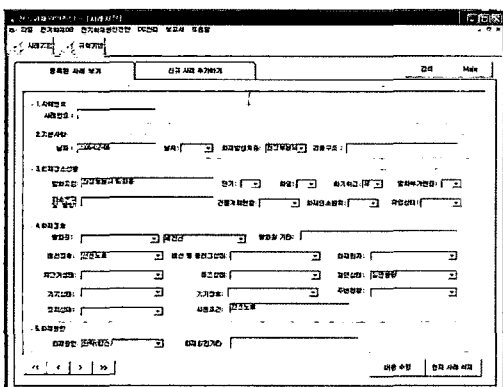


Fig. 4. DB management of case-based.

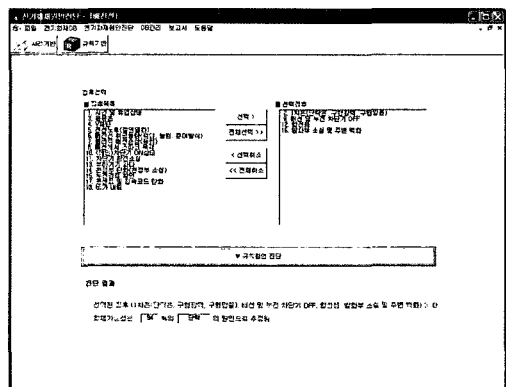


Fig. 7. Rule-based cause diagnosis screen according to ignition source.

나가는 사무실 내부 중간부분이 국소적으로 소실, 벽면 전선에서 1차 합선흔으로 추정되는 전선발견, 차단기는 떨어져 있는 상태임". 본 시스템의 원인 진단 결과는 사례기반 원인진단에서 '단락'으로 추정된 사례가 있었으며, 경과별 및 발화원별 원인진단에서도 '단락'으로 원인을 추론하였다.

5. 결 론

본 연구는 퍼지이론을 도입하여 전기화재 원인진단 시스템을 구축한 것으로 기존의 사고사례를 바탕으로 한 사례기반과 지식 표현에 적합한 규칙기반을 통합하여 지식기반의 원인진단 시스템을 구성하였다.

- 1) 전기화재의 초기 원인진단에 도움을 줄 수 있는 시스템을 개발하였다.
- 2) 중복된 징후를 고려하기 위해 Yager의 합연산으로 가중치를 부여하였으며, 화재현장에서 감식된 징후가 많을수록 원인진단 결과를 높게 하여 진단결과의 신뢰성을 높였다.
- 3) 전기화재의 원인진단에 있어 사례를 통한 원인진단과 퍼지규칙을 이용한 발화원별 원인진단을 동시에 실시함으로써 진단의 효율성과 신뢰성을 향상시킬 수 있었다.

감사의 글 : 본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 화재조사팀 편저, "현장실무자를 위한 화재원인조사기법", 인천광역시 소방본부, 2003.
- 2) 최충석 외 5인 공저, 전기화재공학, 동화기술, 2004.
- 3) 김만건, "전기화재 원인과 예방대책", 손해보험, 2002.
- 4) John D. DeHaan, "Kirk's Fire Investigation(5th edition)", pp. 305~351, 2002.
- 5) G.Dvir and G.Langholz, "Matching Attributes in a Fuzzy Case Based Reasoning", IEEE, pp. 33~36, 1999.
- 6) 이종호, 김두현, "전기화재 조사를 위한 분류체계 개발", 한국안전학회지, Vol. 20, No. 3, pp. 53~57, 2005.
- 7) Lawrence O. Hall, "Rule Chaining in Fuzzy Expert Systems", IEEE Trans. Fuzzy Syst., Vol. 9, No. 6, pp. 822~828, 2001.
- 8) 화재보험협회, 전기화재(발생기별원인), pp. 24~128, 1979.
- 9) 東京消防, 新火災調査教本-第3卷 電氣火災編, 東京防災指導協會, 2004.
- 10) 이광형, 오길록 공저, 퍼지 이론 및 응용, 홍릉과학출판사, pp. 3.1~4.59, 1991.
- 11) M. Koyuncu, A. Yazici, "A Fuzzy Knowledge-Based System for Intelligent Retrieval", IEEE Trans. Fuzzy Syst., Vol. 13, No. 3, pp. 317~330, 2005.