

퍼지추론을 이용한 전기화재 원인진단

이종호 · 김두현 · 김성철 · 김상철*

충북대학교 안전공학과 · 세명대학교 안전공학과

1. 서 론

전기화재는 화재현장의 특성상 감식이 어렵고, 화재조사자의 전문성 결여 및 전문가 부족, 행정절차상의 문제 등 원인진단이나 분석상의 내·외적인 문제점들이 노출되어 있어 전체 화재에서 높은 점유율을 차지하고 있다. 또한 산업이 발전함에 따라 전기에너지 사용이 증가하면서 전기화재 양상은 더욱 복잡하고 다양해지고 있다. 이러한 요인들의 증가는 전기화재에 대하여 체계적인 원인규명을 더욱 어렵게 하고 있으며 화재원인에 따른 예방대책에도 혼선을 주고 있다¹⁻²⁾. 현재 화재의 원인진단은 전체 화재 중 10% 만을 전문조사자가 감식하고 있기 때문에 일선 소방서 등의 조사자들은 많은 화재조사에 참여하게 되며 정밀한 진단이나 감식을 할 수 없게 된다. 또한 지식 습득에 의한 진단보다는 경험에 의한 주관적인 원인조사를 하게 되어 진단결과의 신뢰성이 결여될 수 있다. 따라서 전기화재에 대하여 화재현장의 신뢰성있는 원인조사나 진단을 수행하기 위해서는 전문가와 유사한 진단을 할 수 있으며 전문가의 지식을 지속적으로 습득할 수 있는 시스템이 필요하다. 이를 위해서는 우선 기존의 사고사례, 전문가 지식, 관련문헌 등을 토대로 화재를 분석하고, 성향을 파악하여 원인 진단상의 문제점을 파악한 후, 전기화재의 원인 진단방법 개발과 조사자의 화재진단 능력에 대한 개발 등을 할 수 있는 시스템이어야 한다. 또한 화재원인 조사자에 대한 객관적인 분석자료로 사용할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 전기화재 원인을 진단할 수 있으며 화재 진단업무를 체계화할 수 있는 하나의 틀을 제공하고자 한다. 이 원인진단 시스템을 개발하기 위한 도구는 DB(database)를 구축하기 위해 MS Access 2002를 이용하고, DB 프로그래밍 언어로 Visual Basic 6.0을 이용한다. 시스템은 사례베이스와 규칙베이스로 구성된 지식베이스(knowledge-based reasoning)로 원인진단을 실시하여 진단 결과를 상호보완하면서 신뢰성을 주고자 한다. 사례베이스는 기존 화재 사고사례를 DB로 구축하여 과거사례와 유사한 전기화재를 진단한다. 규칙베이스(case-based)는 각 설비들의 원인과 화재징후 속성들과의 상관성으로 추출된 규칙에 퍼지이론을 도입하여 화재원인을 추론하고 진단하고자 한다.

2. 전기화재 지식베이스

전기화재에 대한 원인을 진단하기 위한 방법으로 많이 사용하고 있는 사례베이스는 유사한 과거의 사례를 이용하여 원인을 진단하는 것이다. 즉 사고사례를 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 용이하다. 그러나 전기화재에 대한 진단을 하기 위해서 사례를 검색해야 하지만, 많은 사고사례가 축적돼야 하는 문제를 갖고 있다. 이를 보완하기 위해서는 규칙베이스 기반의 추론 및 진단이 필요하다.

규칙베이스에 의한 진단은 원인진단이나 계획 등 다양한 형태의 전문가 시스템에서 널리 이용되고 있다. 규칙베이스는 존재하고 있는 다른 규칙과 독립적으로 첨가, 수정, 삭제될 수 있는 지식 단위로 구분되는 모듈성이 있으며, 지식이 같은 형태로 표현되는 균일성이 있다. 또한 지식을 표현하는데 자연스러운 형태를 제공하는 자연성이 있는 장점을 갖고 있어 전기화재의 원인진단에 적합한 추론을 구성할 수 있다. 전문가의 경험적 지식 규칙을 이용한 규칙베이스는 규칙으로 명확히 기술하기 어려운 문제가 있다. 그러나 사례베이스에서 진단된 결과를 규칙베이스의 원인진단에 보조적 수단으로 활용할 수 있기 때문에 전기화재 원인진단의 문제점을 상호 보완할 수 있다³⁻⁴⁾. 전기화재 원인을 진단하기 위한 규칙베이스 추론 개략도를 Fig. 1에 나타내고 있다.

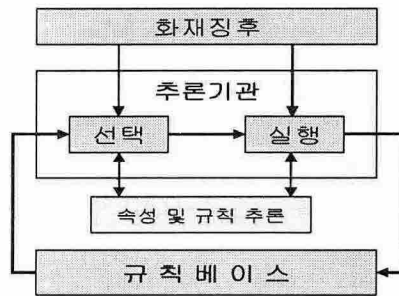


Fig. 1. Rule-Based Reasoning

추론규칙은 전문가의 지식과 관련문헌 등의 자료를 바탕으로 규칙을 생성하는데 생성 규칙은 “ 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.

규칙은 화재의 원인이 어떻게 하여 발생하는지를 보여주는 자료로서 전건부에는 화재와 관련된 화재징후들을 추출하여 DB의 속성들로 축적하였으며, 후건부는 이러한 화재징후들로부터 발생된 원인들로 도출하여 하나의 규칙을 생성하였다. 이러한 규칙 조건들과 결과들은 각각 복수개의 퍼지 변수들로 적용시킬 수 있으며, 보통 여러 개의 입·출력 조건문들로 구성하는 것이 보통이다⁵⁻⁷⁾. 추론규칙에 의해 전기화재를 일으키는 발화원 중 가장 많은 비중을 차지하는 “배선 및 배선기구”에 대하여 추출된 규칙을 Table 1에서 나타내고 있다. 화재현장에서 수집할 수 있는 화재징후인 ‘용융흔’, ‘전선 노후’로 전건부를 구성하고 그 원인인 ‘합선’을 후건부로 구성하였다. 이러한 규칙은 Access를 이용하여 DB화 하였으며, 이렇게 축적된 규칙들을 규칙베이스로 구성하여 원

인진단에 적용하였다.

따라서 전기화재 원인진단에 필요한 지식습득의 방법으로서 가장 오래 사용되었고 보편화된 사례베이스 및 규칙베이스를 채택하여 상호 보완할 수 있는 추론 및 진단시스템을 구성하였다.

Table 1. Reasoning rules of electrical cable

No	화재징후 속성(전건부)			원인(후건부)
1	단락흔	피복이 벗겨짐	-	합선
2	통전상태	전선의 꺾임 및 늘림	전선의 임의노출	합선
3	용융흔	전선노후	-	합선
4	용융흔	배선차단기 off	백화현상	합선
5	퓨즈 용단	누전차단기 off	전선노후	합선
6	단락흔	콘센트 및 코드 탄화	배선차단기 off	합선

3. 퍼지추론 원인진단

3.1 퍼지추론

전기화재의 원인진단을 위해 Zadeh 교수에 의해 제창된 퍼지이론을 도입하였다. 왜냐하면 전기화재 징후와 원인간의 애매함(Fuzziness)을 수리적으로 취급이 가능하도록 해주기 때문이다. 또한 전통적인 논리시스템보다 실제 세계의 근사적이고 부정확한 성질을 표현하는데 효과적이기 때문이다⁵⁾. 퍼지이론을 바탕으로 퍼지추론을 이용한 전기화재 원인진단 시스템은 아직 정형화된 모델 연구가 확립되어 있지 않은 실정이다.

퍼지추론을 이용하여 전기화재에 대한 원인을 진단하기 위해서는 방대한 규칙베이스를 구축하는 것이 필요하다. 즉 전기화재에 대한 규칙을 축적하기 위해서는 많은 자료수집이 가장 중요하다. 규칙베이스에 필요한 자료 수집을 위해 발화원인 전기설비를 전기장치, 전열기기, 전기기기, 배선 및 배선기구로 분류하고 세부설비를 74가지로 선정하였다. 발화원에서 발생되거나 발생할 수 있는 규칙을 추출하기 위해서 화재발생종합보고서(사고사례), 국립과학수사연구소, 관련문헌^{2,8-9)} 등을 참고하였다. 규칙베이스의 표현방법은 수집된 자료를 이용하였으며 전기화재를 일으킬 수 있는 여러 상황과 화재징후들을 분석하였다. 또한 화재감식에 대한 연구사항 및 전문가들의 전문적 지식과 경험을 바탕으로 가장 적합한 지식 및 규칙을 생성하여 규칙베이스를 구축하였다. 추출된 규칙은 “If ~ Then ~” 추론과정을 거쳐 결론을 도출하였다. Fig. 2는 퍼지추론을 이용하여 전기화재 원인진단을 추론하는 모델을 보여주고 있으며 Fig. 3은 규칙베이스 원인진단 초기화면을 보여주고 있다.

전기화재에 대한 화재징후와 원인과의 규칙은 퍼지추론을 적용하기 위해 입력되는 값을 단일값 입력으로 하였다. 전건부인 화재징후 속성에 소속함수값을 부여하고 후건부인 화재원인에 가능척도를 부여하였다. 이러한 조건들을 이용하여 여러 가지의 퍼지연산을 수행한 결과, 전기화재 원인진단에 가장 적합한 퍼지연산을 식 (1)에서 보여주고 있다. 각 속성에 대하여 Max 연산을 수행하고 이것을 규칙의 가능척도와 비교하여 Min 연산을 하였다. 이것은 각 규칙의 가능척도보다 작은 즉, 추론된 퍼지값을 보수적으로 하여 전기화재 원인진단을 하였다.

$$R_f(x) = \text{Min} \{ \text{Max} [\mu(x_1), \mu(x_2), \mu(x_3) \dots], \mu(y) \}, \forall \mu \in [0, 1] \quad (1)$$

여기서, $\mu(x)$ 는 속성들의 소속함수, $\mu(y)$ 은 규칙의 가능척도, 그리고 $R_f(x)$ 는 퍼지연산에 의해 얻은 결과값으로 전기설비에서 징후에 대한 전기화재 원인진단 결과로 도출된다.

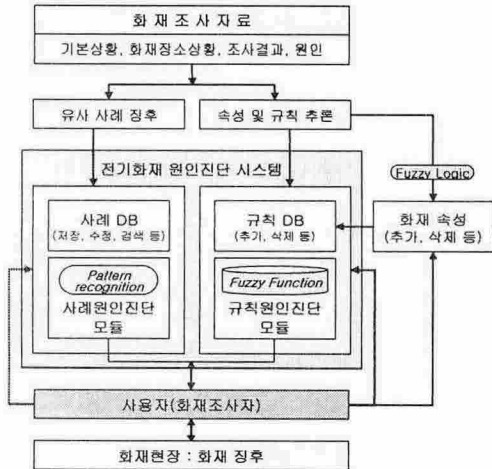


Fig. 2. Cause diagnosis model using fuzzy inference

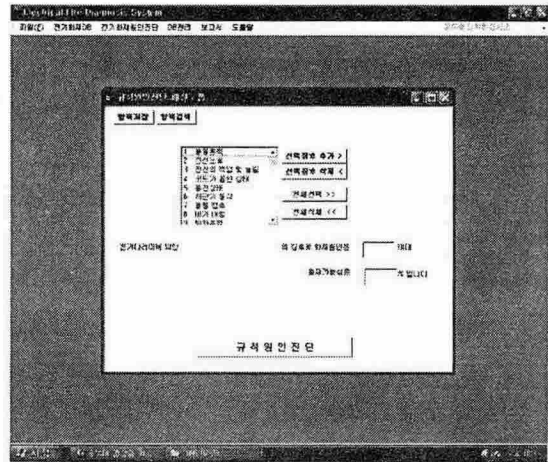


Fig. 3. Cause diagnosis of rule-base

전기설비 중 전기화재 비중을 가장 많이 차지하는 “배선 및 배선기구”에 대하여 소속함수들을 Table 2에서 보여주고 있으며, 이러한 소속함수들의 조합으로 Table 3처럼 규칙을 DB에 저장하였다. 원인진단은 축적된 규칙에서 징후와 원인간의 불확실성을 해결해야 할 필요가 있다. 그래서 각 설비별 규칙들은 전문가의 의견을 적용시켜 화재징후 속성들에 소속함수를 부여하였다. 그 원인에 대해서는 가능척도를 제시하여 규칙에 대한 원인진단에 신뢰성을 부여하였다.

Table 2. Membership functions of electric wire and outlet

코드	화재징후	소속함수
c_01	용융흔적	0.9
c_02	전선노후	0.7
c_03	전선의 꺾임 및 눌림	0.8
c_04	코드가 꼬인 상태	0.3
c_05	통전상태	0.6
c_06	차단기 동작	0.5
c_07	동물 접촉	0.2
c_08	비가 내림	0.4
c_09	탄화흔적	0.4
c_10	합선음	0.9

Table 3. Rules of electric wire and outlet

규칙	코드				원인	가능척도
r_01	c_01	c_02	c_03		합선	1.0
r_02	c_03	c_05			합선	0.8
r_03	c_02	c_07			합선	0.5
r_04	c_01	c_03	c_09		합선	0.9
r_05	c_01	c_05			합선	0.8
r_06	c_02	c_07	c_09	c_10	합선	1.0
r_07	c_02	c_08	c_09		누전	0.6
r_08	c_06	c_08			누전	0.5
r_09	c_06	c_09			누전	0.4
⋮					⋮	⋮

3.2 사례연구

퍼지추론에 의해 원인진단은 우선 사전조사를 하기 위해 화재현장의 건물형태, 발생시간, 목격자, 날씨 등을 세밀하게 조사한다. 그 다음으로 중점사항에 해당되는 발화부위, 발화원, 화재원인 등을 조사하여야 한다. 하지만 본 연구에서는 전기화재의 원인을 진단하기 위한 것이기 때문에 먼저 전기화재로 설정하고, 화재현장의 발화원(배선)을 설정한 다음에 발화원에 해당되는 규칙을 추론하여 진단을 실시해야 한다. 다음은 실제 화재의 수집된 정보를 보여주고 있다.

“ (개요) 30년된 일반 가정주택에서 잠을 자던 중 따닥하는 소리에 잠이 깨어 밖으로 나와보니 사랑방 천정부분에서 화재를 목격하였음, (목격자진술) 몇 일전부터 천정에서 쥐소리가 심하게 들렸다고 함, (감식) 천정에서 탄화흔적이 발견됨 ”

위의 진술에서 ‘30년된 주택’, 동물인 ‘쥐’의 흔적, 발화부위에서의 ‘탄화흔적’, 따닥하는 소리에서 ‘합선음’, 발화원으로는 ‘전기배선’이라는 정보를 수집할 수 있다. 이러한 정보들로 사례베이스에서 진단을 실시한 결과 동종의 사례에 ‘합선’이라는 결론을 제시하고 있다. 또한 규칙베이스는 본 사례와 유사한 규칙 ‘r_03’과 ‘r_06’이 추출되며 원인진단에 대한 연산 과정을 Table 4에서 보여주고 있다. 실제사례의 퍼지연산은 화재징후에 대한 Max 연산으로 $Max[0.7, 0.2, 0.4, 0.9]$ 를 실행하고 이것을 ‘규칙 r_06’에 해당하는 가능척도와 Min 연산으로 결과를 추론하게 된다. 따라서 퍼지추론 결과 $R_f(x)$ 는 $Min\{0.9, 1.0\} = 0.9$ 가 나오며, 그 원인으로는 ‘합선’이라는 진단결과가 나왔다. ‘규칙 r_03’은 추론하고자 하는 규칙과 유사한 규칙으로 ‘합선 50%’가 진단되었지만 퍼지값에서 50%라는 값은 가장 애매한 결과이기 때문에 진단결과에서 배제하였다. 따라서 사례베이스와 규칙베이스에서 화재사례가 ‘합선’이라는 동일한 결과로 진단되었으며 수집된 정보로부터 합선 가능성이 90%라는 결과값이 도출되었다. 사례베이스와 퍼지개념을 도입한 규칙베이스를 통합하는 것은 진단의 원활한 추론을 가능하게 하였다. 그리고 퍼지진단 결과는 원인진단상의 주변환경 조건들에 대한 불확실성이 적용되어 결과가 도출되었기 때문에 원인진단에 적합한 추론으로 판단된다.

Table 4. Fuzzy operation for the case study

규칙	퍼지연산	원인 및 가능성
r_03	$Max[0.7, 0.2] \mapsto Min[0.7, 0.5]$	합선 50%
r_06	$Max[0.7, 0.2, 0.4, 0.9] \mapsto Min[0.9, 1.0]$	합선 90%

4. 결론

본 연구는 퍼지이론을 도입하여 전기화재 원인진단을 한 것으로 기존의 사고사례를 바탕으로 한 사례베이스와 지식 표현에 적합한 규칙베이스를 통합하여 지식베이스 기

반의 원인진단 시스템을 구성하였다. 특히 규칙베이스에서 원인을 추론하기 위해 퍼지 연산인 Max/ Min 연산을 실시하였으며 사례연구를 통하여 화재원인 진단에 신뢰성을 향상시켰다.

1. 전문가의 지식, 사고사례, 관련문헌 자료 등을 토대로 사례베이스와 규칙베이스를 통합하여 지식베이스 기반의 원인진단을 구축하였고, 원인진단의 어려움을 다소 해결할 수 있다.
2. 퍼지추론에 의한 전기화재의 원인판정에 객관적인 정보를 제공할 수 있었으며, 사례 및 규칙의 기록·보전업무를 동시에 수행할 수 있어 추후에 더욱 진화되고 발전시킬 수 있는 전기화재 원인진단 시스템을 구축할 수 있다.
3. 화재원인 추론에 있어 전기화재에 대하여 발화원별 및 경과별 원인을 동시에 제시할 수 있었으며 또한 원인의 가능성 정도를 제시할 수 있는 추론이 가능하다.
4. 원인조사 및 감식 수행하는 조사자나 관련 유사업무 종사자는 원인 감식에 필요한 지식획득과 교육 자료로 활용이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 김인태 외 4인, “화재사고 분류모델 및 데이터베이스를 이용한 화재사고 분석시스템 구축에 관한 연구”, KIGAS Vol.2, No.1, 1998.
- 2) 화재조사팀 편저, 현장실무자를 위한 화재원인 조사기법, 인천광역시 소방본부, 2003.
- 3) 송영배, “지능적 정보처리를 위한 퍼지추론기관이 구축”, J. GIS Association, Vol.7, No.2, pp.191-207, 1999.
- 4) 김두현, 김상철, “퍼지가능성 척도를 이용한 전기화재 원인진단 시스템의 구축”, 한국산업안전학회지, 제7권, 제4호, 1992.
- 5) 이광형, 오길록 공저, 퍼지 이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 1991.
- 6) M. Koyuncu, A. Yazici, “A Fuzzy Knowledge-Based System for Intelligent Retrieval”, IEEE Trans. Fuzzy Syst., Vol.13, No.3, 2005.
- 7) Lawrence O. Hall, “Rule Chaining in Fuzzy Expert Systems”, IEEE Trans. Fuzzy Syst., Vol.9, No.6, 2001.
- 8) 최충석 외 5인 공저, 전기화재공학, 동화기술, 2004.
- 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.