

규칙기반 추론과 사례기반 추론기법을 혼합 적용한 전기화재 원인진단 프로그램에 관한 연구

공학박사 홍성호/전기시스템팀 연구원

1. 서론

전기화재사고는 그 발생 빈도로 보나 발생 시 가져오는 많은 인적, 물적피해를 볼 때 적절한 방재 대책이 수립되어야 한다. 이러한 전기화재를 방지하기 위해서 선행되어야 하는 것이 발생한 화재의 원인이 어떠한 종류의 전기적 요인이었는가를 판별하는 것이다. 지금까지 전기화재의 원인진단과 감식, 방재 대책에 대한 연구가 진행되어 왔으나 실용적으로 적용하기에는 체계적이지 못하고 미흡한 실정이다. 또한 화재 발생시 일선 소방서의 소방관들에 의해 초등 감식과 원인 판정 업무가 수행되지만, 이들이 보다 신속하고 정확하게 원인 진단업무를 수행함과 동시에 원인 진단 및 화재사례의 기록·보전업무에 도움을 줄 수 있는 컴퓨터 프로그램이 상당히 부족한 실정이다.

본 원고에서는 그 동안 연구되어온 화흔 감식법과 원인 규명법을 데이터베이스화하고 이를 이용하여 컴퓨터에 대한 비전문가라 할지라도 쉽게 체계적으로 원인진단 업무를 수행할 수 있는 전산화된 프로그램을 제시하였다. 이는 원인진단 업무의 수행을 보조하는 것뿐만 아니라 이 업무의 체계화를 꾀할 수 있는 하나의 지표와 구체적인 통계 자료를 만들 수 있는 틀을 구성하는 것을 목표로 하였다. 따라서 프로그램은 단순히 연구된 자료를 검색하는 데이터베이스의 구성이 아닌 사용자와 프로그램과의 상호작용으로 사용자의 요구 수준에 따라 필요한 정보를 제공할 수 있는 지능형 데이터베이스 프로그램으로 구성하였다. 이를 위하여 전문가시스템의 주요 지식 추론 기법인 규칙기반 추론과 사례기반 추론법을 병용하여 추론 모형을 설계하였고 이를 구현할 수 있는 전기화재 원인진단 프로그램(Electrical Fire Diagnosis Program)을 제시하였다.

2. 추론기법의 개발

2.1 추론기법 고찰

추론 방식은 크게 규칙기반 추론 또는 지식기반 추론 (Rule-Based Reasoning : RBR, Knowledge-Based Reasoning) 방식과 사례기반 추론(Case-Based Reasoning : CBR) 등이 있다. 규칙기반 추론은 해의 유의성이 높고 탐색 과정이 논리적인 반면에 지식의 추출과 추가·확장이 어렵고 불확실한 자료의 표현과 처리가 곤란하다. 사례기반 추론은 지식의 획득과 증가 과정이 용이하고, 복잡하고 불확실한 문제에 대해서도 해를 제공할 수 있으나 해의

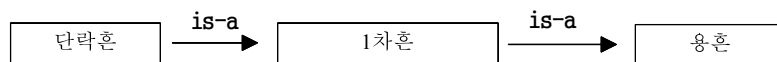
유의성이 떨어지고 논리적이지 못하다.

본 연구에서는 이러한 규칙기반과 사례기반 추론의 장점을 조합한 혼합추론 방식을 사용하였다. 연구되어온 감식법을 이용한 규칙기반 추론과 지식의 항목들을 이용한 색인 항목들을 구성한 사례기반 추론을 병용하면서 데이터베이스의 불충분함에서 오는 문제를 해결할 수 있고 사례학습을 통하여 데이터베이스의 완성도를 높여갈 수 있어 두 가지 추론 기법을 혼합 적용하여 전기화재의 원인진단 프로그램을 제시하였다.

2.2 규칙기반 추론 기법의 추론모형

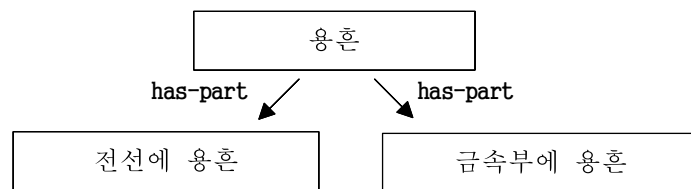
전문가시스템에서 지식을 표현하는 방법에는 규칙, 의미망, 프레임을 이용한 방법이 있다. 규칙은 가장 널리 알려진 지식표현 방법 중의 하나이다. 이는 IF 문장과 THEN 문장으로 연결된 형태를 취하며, IF 구문의 조건이 만족되거나 발생한 상태이면 THEN 구문이 수행되거나 논리적으로 참이 되는 형태이다. 이를 생성규칙(production rule)이라고도 한다.

의미망(semantic net)은 인간의 연관 기억의 심리학적 모형을 근거로 하고 있다. 의미망은 특정 객체나 개념을 표현하기 위한 노드(node)와 노드간의 관계를 표현하기 위한 호(arc)로 구성되는 네트워크 구조로서, 1960년대 주로 자연어처리의 모형화에 응용되어 왔다. 노드는 객체(object), 개념(concept), 사건 등을 표현하고 호는 노드간의 관계를 나타낸다. 방향을 나타내는 화살표가 있는데, 추상적으로 낮은 개념에서 상위의 개념으로 향한다. 호에는 호가 연결하는 두 개 노드 사이의 관계의 성질을 표현하는 라벨(label)이 붙는다. 의미망을 이용하면 개념의 정의나 개념간의 관계 등을 표현하기가 좋다. 많이 사용되는 호의 종류에는 is-a호와 has-part호가 있다. is-a호는 하나의 개념이 다른 개념의 부분집합(subset), 하위유형(subtype) 또는 특수화(specialization)된 것일 때 사용되는데, [그림 1]은 이러한 is-a호로 표현된 의미망이다.

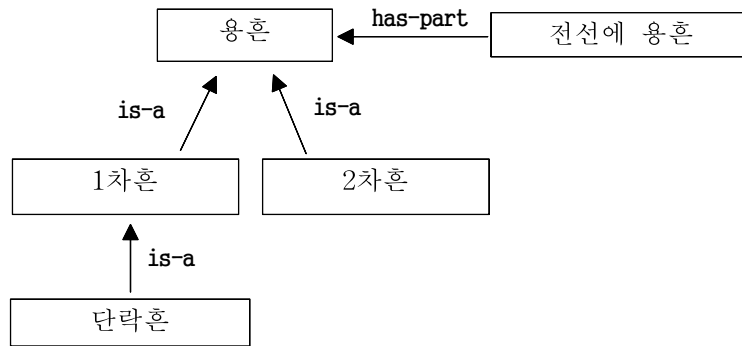


[그림 1] Is-a호로 표현된 의미망

1차혼은 용혼이며, 단락혼은 1차혼의 하나이다. is-a 관계는 이행성(transitivity)이 있으므로 위에서 명시적으로 나타나 있지 않더라도 단락혼은 용혼이다라는 뜻을 유추할 수 있다. has-part는 하나의 개념이 다른 개념의 일부를 구성하는 구성물일 경우 사용될 수 있다. [그림 2]는 이러한 has-part의 사용 예를 보여주고 있다.



[그림 2] Has-part호로 표현되는 의미망



[그림 3] Is-a호와 has-part호로 표현되는 의미망

의미망에서는 이행성으로 인해 똑같은 노드를 중복적으로 나타내지 않아도 표현되기 때문에 표현의 중복을 피할 수 있어 궁극적으로 지식의 양을 줄일 수 있다. 예를 들어 [그림 3]과 같은 의미망에서 용흔의 하위 개념들(1차흔, 2차흔)에 대해서 중복적으로 전기배선의 용흔이라는 노드를 나타내지 않더라도 전기배선의 용흔이라는 부분을 갖고 있음을 알 수 있다. 마찬가지로 단락흔이 전기배선의 용흔이라는 것도 알 수 있다.

의미망은 노드의 구조가 너무 간단하여 복잡한 표현의 경우 의미망의 노드수가 늘어나 검색 시간이 길어진다는 단점이 있다. 이에 비해 프레임(frame)은 노드의 구조를 보다 체계화한 것으로 볼 수 있다. 프레임이란 “어떤 대상 객체에 대한 여러 개의 상황정보들을 하나의 구조화된 틀로서 표현할 수 있는 자료구조”이다. 프레임에는 대상의 특성에 대한 기술적인 정보뿐만 아니라 프레임에서의 정보 추출 방식까지도 규정되어 있다.

프레임을 이용한 표현도 궁극적으로는 의미망과 흡사하고 하나의 프레임 구조는 대상 하나 하나의 특성들을 나타내는 여러 개의 슬롯(slot)으로서 구성된다.

본 원고에서는 규칙의 형태, 즉 IF문장과 THEN 문장으로 연결되어있는 형태인 규칙으로 각 지식베이스의 항목들을 표현하였고, 노드(Node)간의 관계를 표현하기 위해 네트워크 구조인 의미망(Semantic Net)으로서 규칙 항목들간의 관계를 설정하였다.

규칙형 지식베이스에서 추론방식은 가장 기본적인 방식인 Modus Ponens를 사용하였는데 이는 $A \rightarrow B$ 와 같은 규칙이 있고, 또 그 전제가 되는 A가 사실일 때 결론 B를 내리는 것을 말한다. 또한 AND/OR 그래프의 형태로 규칙들을 구조화하였고 원인에서 결과를 탐색할 때 쓰이는 정방향 추론(Forward Chaining) 기법을 적용하였다.

2.3 사례기반 추론 기법의 추론모형

사례기반 추론에서는 사례의 인덱싱이 추론의 성능을 좌우하는데 인덱싱 방법에는 특성간 비교를 통한 최다 일치 사례 선별법, 귀납적 알고리즘 사용법, 지식베이스 항목 이용법이 있다. <표 1>은 사례 기반 추론시 고려해야 할 사항들을 나타낸다.

지식 베이스 이용법은 지식에 의해 어떠한 특성이 가장 유사한 사례를 도출하는데 중요한지를 결정하는 방법이다. 본 연구에서는 현재 이용 가능한 사례 데이터가 빈약하고 앞으로 지식베이스의 완성도도 지원할 수 있다는 측면에서 사례의 유사성을 설명할 수 있는 지식베이스 항목 이용법을 선택하였다.

또한 지식의 삭제 및 변경이 가능하도록 비단조 추론(Nonmonotonic)방식을 적용하였다.

<표 1> 사례기반 추론시 고려해야 할 사항

항 목	내 용
표 현 (representation)	사례를 어떻게 표현할 것인가?
색 인 (indexing)	사례를 어떻게 효과적으로 저장할 것인가?
조 회 (retrieval)	새로운 문제에 알맞은 과거의 사례를 어떻게 찾아올 것인가?
적 응 (adaption)	과거의 해를 주어진 문제에 어떻게 적용시킬 것인가?
학 습 (learning)	새로운 해를 어떻게 사례로 저장할 것인가?

3. 전기화재 원인진단 프로그램

3.1 프로그램의 구성 및 알고리즘

규칙기반 추론은 지식베이스와 추론엔진으로 구성된 D.A.Waterman의 구조를 응용하였다. 여기에서 지식베이스는 사실(fact)과 전문가에게서 추출한 규칙(rule)의 두 가지 요소로 구성된다. 추론 엔진은 지식을 적용하는 해석기(interpreter)와 적용하는 순서를 결정하는 스케줄러(scheduler)로 구성된다.

기존의 연구들에서는 해당 화인으로 발생한 화재의 결과 잔존하게 되는 화흔과, 각 화인에 따른 화재 현장의 특징, 해당 화인으로 인한 화재의 발생 가능성을 의미하게 되는 전기설비의 사용 상태 및 이력 등으로 화재 조사를 행하는데 이들은 모두 각 화인과 직·간접적인 관련이 있기에 지식 베이스에 포함할 수는 있으나 각자가 가지는 해당 화인과의 긴밀도는 차이가 있다.

본 연구에서는 이 같은 긴밀도의 차이를 감안하여 아래의 <표 2>와 같이 부합도 점수를 분류하여 규칙과 사례의 매칭과정인 해를 획득하는 방법으로 산술적인 수식에 따른 수식을 이용하였다.

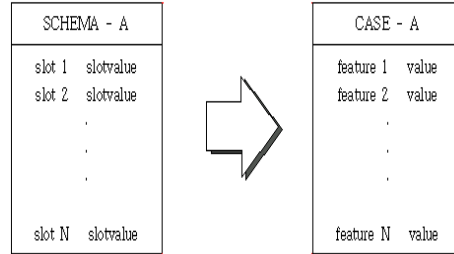
<표 2> 부합도 점수 분류

부합도 점수	분 류 내 용
5점	특정 화인으로 화재를 발생시킨 실험결과 잔존하게 되는 화흔
4점	화재결과 잔존된 화흔 중 절대적으로 특정 화인에 한해서만 발생한다고 볼 수 없는 것
3점	특정 화인에 의한 화재 발생시 일반적으로 관찰 가능한 화재현장의 특징
2점	화재 현장의 특징 중 특정 화인과의 관련성이 상대적으로 떨어지는 것
1점	특정 화인에 의한 화재로 성장 가능한 위험 상황
0점	특정 화인과 직접적인 관련은 없으나 타 항목과 조합될시 화인의 진단을 조력하는 항목

사례기반 추론을 위한 사례기반 인덱스 항목은 <표 3>과 같고 프레임으로 표현되는 사례는 [그림 4]와 같다.

<표 3> 사례기반 인덱스 항목

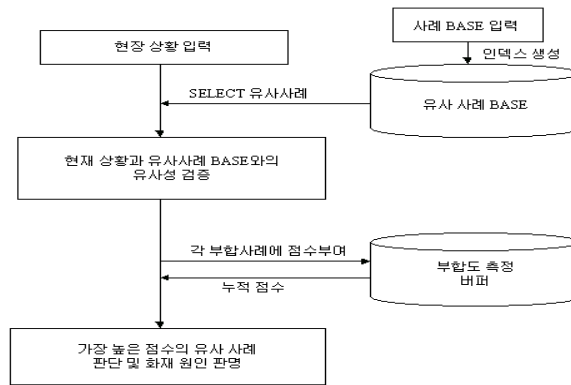
화재 사례
발화지점
전선의 상태
용흔의 상태
차단기 작동상태
발화점의 현상
건축물의 사용년수
퓨즈 상태
전기기기 절연상태
접지공사 상태
절연체 손상정도
가연성 물질의 존재
기후조건
화재당일의 급전상태
전기계통의 이전 내력
기타현상 등



[그림 4] 프레임으로 표현된 사례

색인 항목의 구성은 화재 현장에서 쉽게 취득이 가능하고 화재 발생과 직접적으로 관련이 있어야 한다는 것을 원칙으로 세우고 규칙과 전기 계통의 이전 사용 조건을 중심으로 일선 소방서에서 작성한 화재 발생 시의 보고서를 참조하여 구성하였다.

사례베이스는 화재사례의 입력과 검색의 편의를 위해 속성값(feature-value)방식인 프레임 형식으로 사례를 표현하여 구성하였다. 사례기반 추론과정은 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 사례기반 추론 과정

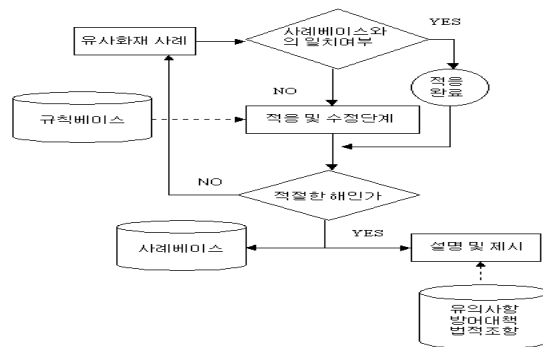
사례조회는 중요 색인항목을 우선 탐색하여 탐색 사례의 수를 줄여나가는 차별망 (discrimination networks) 방법과 수치적 절차에 바탕을 둔 최근치 알고리즘(nearest neighbour algorithm)을 같이 적용하는 것이 일반적이거나 본 연구에서는 탐색할 사례의 수가 적으므로 최근치 알고리즘만을 사용하였다.

3.2 프로그램 구현

본 연구에서 요구되는 추론 모형을 구현하기 위해선 단순한 데이터의 저장 및 접근 방법에 의한 참조 기능뿐만 아니라 저장된 정보로부터 새로운 사실을 추론하여 의사 결정에 이

용할 수 있는 프로그램이 필요하다. 또한 규칙기반과 사례기반 추론의 병용과 사용자 중심 인터페이스의 구성이 가능해야 한다. 이러한 점을 감안할 때 기존의 전문가시스템 개발 도구들은 비용과 효과 면에서 부적절하다고 판단되어 사례와 지식의 데이터베이스를 이용할 수 있는 응용 프로그램을 직접 개발하였다. 이를 전기화재 원인진단 프로그램(Electrical Fire Causes Diagnosis Program : EFCDP)라 명명한다.

본 프로그램의 특징은 규칙기반 추론 결과와 사례기반 추론 결과의 비교와 지식베이스 항목을 통한 조회로써 해의 적용 및 수정이 가능토록 하였다는 것이다. 또한, 향후 프로그램의 보완 과정에서 진단된 원인에 대한 유의사항 및 방어대책, 해당 법적 조항들을 해에 추가하여 보여주는 설명 기능을 갖도록 DB를 설계하였다. [그림 6]에서 이러한 과정을 보인다. [그림 6]에서 보듯이 해가 적절하다고 판단되면 사례베이스에 포함시키는 학습 과정을 같이 보인다.



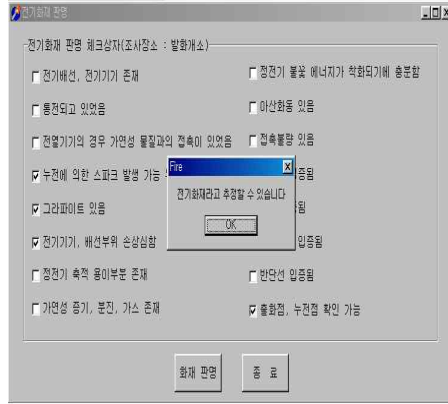
[그림 6] 해의 적용, 수정 및 학습과정

3.2.1 통전여부 및 전기화재 가능성진단

본 프로그램은 먼저 화재 현장의 전기기기, 옥내배선, 연장 코드가 통전 중 이었는지를 판별하고, 전기적 요인에 의한 화재 즉, 전기화재의 가능성을 판별한 다음 최종적으로 어떠한 전기적 요인에 의한 화재인가를 추론하는 순서로 원인진단을 수행한다. [그림 7]은 통전 상태 진단 창을 보이는 것이다. 설정된 진단 순서에 따라 각 진단항목을 화면 구성의 편의상 번호로 나타내었고, 사용자가 각 번호 버튼을 클릭한 후 해당 항목의 내용을 확인하면 프로그램에 정보가 입력된다. 각 항목은 풍선 도움말로 내용을 확인 할 수 있다. [그림 8]은 통전여부가 확인되었을시 해당 화재가 전기화재일 가능성이 있는지를 판별하는 창이다. 통전중 이었고 전기화재일 가능성이 있으면 프로그램은 세부적인 원인을 추론하게 된다.



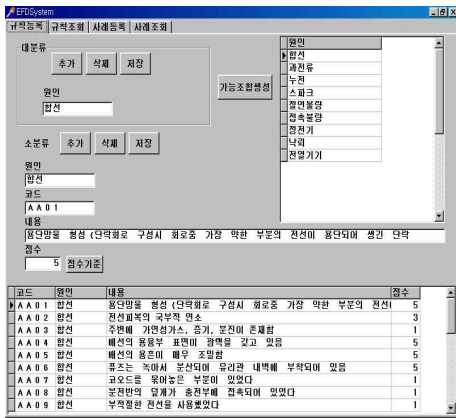
[그림 7] 통전상태 진단 창



[그림 8] 전기화재 가능성 판별창

3.2.2 규칙과 사례의 등록과 조회

본 프로그램의 추론 과정은 규칙등록과 규칙조회, 사례등록과 사례조회 of 4가지의 창으로 구성되어 있다. [그림 9]는 규칙의 등록을 수행하는 화면을 나타내며, [그림 10]은 사례등록 시 새로운 사례 입력을 위한 창을 나타낸다.



[그림 9] 규칙과 사례등록 창



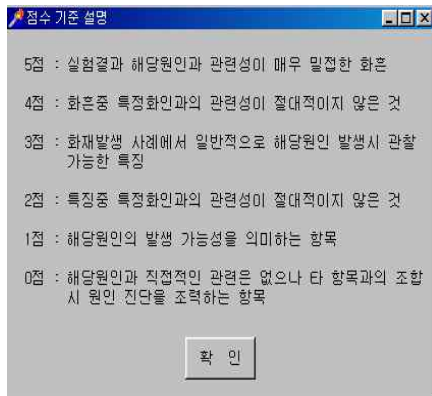
[그림 10] 새로운 사례 추가 창

사례를 등록하는데 있어서 새로이 입력되는 사례에는 코드 값이 부여된다. 사례 조회 시에는 사용자가 자신이 갖고있는 정보를 각 색인 항목별로 입력하면 사례베이스와의 부합도가 계산되고 유사사례 찾기 버튼을 클릭하면 가장 유사한 사례와 유사도 점수가 출력된다.

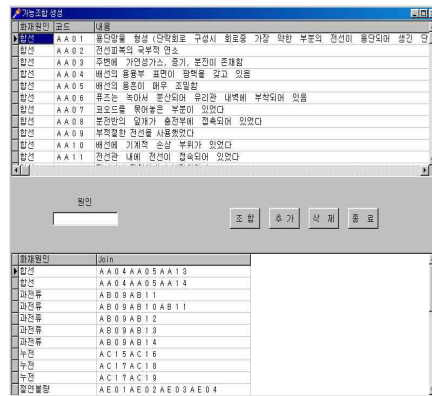
사례의 등록은 사용자가 일관된 색인항목에 따라 보다 쉽게 입력할 수 있도록 표준 질의어 중에서 선택하는 방식을 취하였다.

사용자가 확신도 점수 입력시 점수 가중의 기준을 확인 할 수 있게 하기 위하여 점수기준이란 버튼을 클릭 하면 [그림 11]과 같은 창이 뜨게 하였다. 원인과의 관련성이 긴밀한 정도로 가중치를 주어 확신도 점수의 정도를 분류하였다.

가능조합 생성이란 버튼을 클릭 하면 지식 베이스 항목 중 서로 관련성이 있어 얻고자하는 해에 대한 접근 정도를 증가시키는 항목끼리 집단화를 시켜주는 조합을 생성하기 위한 창이 뜬다. 이를 [그림 12]에 보인다.



[그림 11] 확신도 점수



[그림 12] 가능조합 생성

전기화재의 원인을 합선, 과전류, 누전, 스파크, 절연불량, 접촉불량, 정전기, 낙뢰, 전열기기의 9가지 종류로 구분하여 이를 대분류 항목으로 선정하였다. 각 원인별로 해당 규칙이 코딩되고 가중치를 고려한 부합점수가 부여된다. 적용 규칙은 사용자 함수로써 편집되어 있다. 또한, 몇 가지의 항목들이 서로 관련성이 있어 동시에 확인될 경우 특정한 화인일 가능성을 증가시킨다면 이를 조합으로 처리하여 해당 조합에 가중치를 부여하는 조합가중치를 적용하였다.

규칙의 조회 시에는 지식베이스를 한 화면상에 나타내어 사용자가 선택 입력하게 하였다. 추론 결과는 인자별 지식베이스와의 부합도 점수와 해당 원인 규칙베이스와의 부합율을 볼 수 있도록 두 개의 메모 컴포넌트를 배치하였다.

본 프로그램은 먼저 화재 현장의 전기기기, 옥내배선, 연장 코드가 통전 중 이었는 지를 판별하고, 발생한 화재가 전기적 요인에 의한 화재 즉, 전기화재인지를 판별한 후, 최종적으로 어떠한 전기적 요인에 의한 화재인가를 추론하는 순서로 원인진단을 수행한다.

4. 사례연구

제시한 프로그램의 타당성을 검증하기 위해 합선이라고 판명되었던 화재사례인 <표 4>와 같은 현상들이 입력되었을 때 프로그램이 전기화재를 진단하는 상태를 나타낸다.

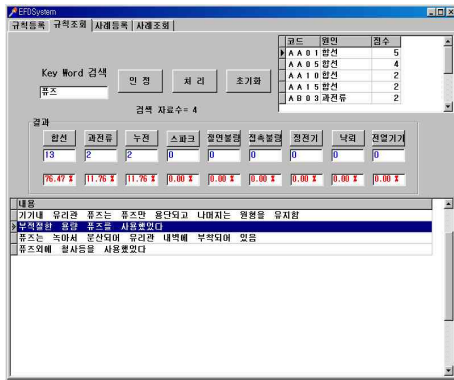
<표 4> 합선이라고 판명된 화재사례

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| ① 비 정격용량 퓨즈 | ② 배선에 기계적 손상부위 있음 |
| ③ 전기배선에 생긴 용흔이 조밀함 | ④ 발화개소 부근이 심하게 그을러 있음 |
| ⑤ 부적절한 용량의 퓨즈사용 | ⑥ 천정발화 |
| ⑦ 전선배열 불량 | |
| ⑧ 심한 그을음 | ⑨ 사용년수 15년 |
| ⑩ 용단망용 형성 | |
| ⑪ 절연상태 양호 | ⑫ 접지상태 양호 |
| ⑬ 가연성물질 주의 | |

[그림 13]과 [그림 14]는 규칙기반 추론과 사례기반 추론의 결과 화면이다. 규칙기반 추론결과 입력된 정보가 합선과 76.47 %의 높은 부합율을 보였고 사례기반 추론에서도 이전에 발생 원인이 합선이라고 판명되었던 40번 사례와 입력 정보들이 6.99의 높은 유사도를 보였다.

따라서 프로그램은 이 사례를 천정에서 전기 배선에 기계적 손상이 생겨 전선이 단락되면서 발생한 합선에 의한 화재라고 진단하게 된다.

아직 지식과 사례베이스의 품질이 저조한 관계로 본 모형의 신뢰도를 충분히 검증하는 데에는 한계가 있으나 발생 화재에 관하여 본 연구에서 제안한 추론 모형을 적용한 결과 발생 원인을 추적할 수 있었으며 가장 유사한 화재원인이 탐색 가능한 것으로 판단된다.



[그림 13] 규칙기반 추론 결과



[그림 14] 사례기반 추론 결과

5. 결론

본 원고에서는 전기화재 원인진단을 위한 업무에 일관성, 체계성, 합리성, 편의성을 부여하기 위하여 규칙기반 추론기법과 사례기반 추론기법을 병용한 혼합 추론 기법의 모형을 제시하고 이모형을 하나의 전산화된 프로그램으로 제시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 규칙베이스의 항목을 이용, 사례 베이스의 색인항목들을 구성하여 화재 감식 시 조사해야 될 항목의 예를 제시하였다. 이를 이용하여 감식 업무의 체계적인 기록·보존을 꾀할 수 있고, 두 가지 추론결과의 상호비교를 통하여 해의 수정과 적용을 용이하게 할 수 있었다.

2) 규칙베이스와 사례베이스의 구성을 위해 획득이 가능한 지식과 사례의 품질과 양이 저조한 동시에 다양한 화인을 보이는 전기화재의 특성상 원인진단을 위한 추론기법으로는 규칙기반추론과 사례기반 추론의 두 가지 추론기법의 장점을 살리고 향후 프로그램의 완성도를 높일 수 있는 혼합추론기법을 사용하는 것이 타당함을 알 수 있었다.

3) 본 연구에서 개발된 원인진단 프로그램의 성능과 유효성을 검증하기 위하여 몇 가지의 가상 사례를 적용해 본 결과 대상 화재의 발생원인을 효과적으로 진단할 수 있었으므로, 제안된 모형은 유용성이 있다고 판단된다.

향후 본 프로그램을 실제 업무에 적용하는 과정에서 해의 최소유의수준과 중요인자에 대한 가중치 결정, 보다 합리적인 색인항목 구성 등에 관한 추가적인 연구가 필요하다.