

규칙 및 사례기반의 하이브리드 고장진단 시스템

이재식*·김영길**

A Hybrid Malfunction Diagnostic System using Rules and Cases

Jae Sik Lee*·Young Kil Kim**

Abstract

Customer service process is one of the most important processes in today's competitive business environment. Among the various activities of customer service process, equipment malfunction diagnosis activity should be performed fast and accurately. When a customer calls the service center and reports the observed symptoms, he/she describes them in layman's terms. Therefore, the customer-reported symptoms have not been considered helpful information for service representatives. However, in order to perform diagnosis activity fast and accurately, we need to make use of the customer-reported symptoms actively. In this research, we developed three systems called R-EMD(Rule-based Equipment Malfunction Diagnostic system), C-EMD(Case-based Equipment Malfunction Diagnostic system) and R&C-EMD(Rule & Case-based Equipment Malfunction Diagnostic system), each of which diagnoses equipment malfunctions using the customer-reported symptoms. R&C-EMD is a hybrid system that utilizes both rule-based and case-based technologies. The diagnosis rules used in R&C-EMD and R-EMD were not acquired from service manuals or interviews with service representatives. Rather, we extracted them directly from the past diagnosis cases based on symptoms' frequencies. By this way, we were able to overcome the knowledge acquisition bottleneck. Using the real 100 malfunction diagnosis cases, we evaluated the performances of R&C-EMD, R-EMD and C-EMD in terms of speed and accuracy. In diagnosis time, R&C-EMD took longer than R-EMD and shorter than C-EMD. However, R&C-EMD was the best in accuracy.

Key Words : Hybrid Systems, Case-based Systems, Rule-based Systems, Malfunction Diagnosis

이 연구는 대우재단의 1997년도 특별연구비 지원에 의하여 수행되었음

*아주대학교 경영대학 경영학부 부교수

**아주대학교 대학원 경영정보학과 석사과정

1. 서 론

기업 환경의 경쟁이 심해짐에 따라, 고객 만족은 기업의 중대한 목표가 되고 있다. 설비의 고장진단은 애프터 써어비스의 일환이며 고객 만족에 미치는 영향이 커지고 있음에도 불구하고 현재의 진단 과정은 수리기술자의 개인적인 기술과 경험에만 의존하고 있어서 신속·정확성의 면에서 일관성이 유지되지 못하고 있다. 진단이란 비정상적인 작동, 즉 고장이 발생하였을 때에 관찰된 증상들을 분석해서 고장의 원인을 찾아내는 행위를 말한다. 예를 들어 환자의 증상을 보고 질병을 판단하거나, 실험결과를 가지고 전자회로의 고장난 부위를 찾아내는 것 등이다.

본 연구에서는 고객에 대한 여러 가지 써어비스 활동 중에서 고객이 사용하고 있는 설비의 고장진단을 대상으로 하고 있다. 고장진단 시스템은 가능한 고장조건들에 대한 지식과 관찰된 시스템 동작에 대한 정보로부터 고장이 났는지 여부를 추론하는 기능을 가지고 있다. 이러한 시스템을 개발하기 위하여 많이 활용된 인공지능 기법은 규칙기반 추론이다. 규칙기반 추론기법에서는 전문가의 경험적인 휴리스틱 지식을 생성 규칙(Production Rule)의 형태로 표현하는데, 이는 전문가의 지식이 체계적으로 잘 정리되어 있는 경우에는 별 문제가 없지만, 그렇지 못한 경우에는 그만큼 영역전문가(Domain Expert)로부터의 지식 획득(Knowledge Acquisition)에 의존해야 하므로 이로 인한 여러 한계점이 제기되고 있다. 최근 들어서는 이러한 한계를 극복하기 위해 여러 대안적 기법을 활용한 시스템 개발 연구가 수행되고 있는데, 사례기반 추론[Kolodner, 1993]이 그 대표적인 기법이다. 사례기반 추론은 과거에 유사한 문제를 해결한 경험을 기초로 새

로운 문제에 대한 해를 구하는 기법으로서 규칙기반 추론과 마찬가지로 휴리스틱 지식을 이용하면서도 실제 인간의 추론과정에 보다 적합하다는 장점때문에 개념이 잘 정의되어 있지 않거나 규칙을 추출하기 어려운 분야의 문제 해결에 특히 유용하게 사용될 수 있다. 하지만 사례기반 추론은 방대한 사례베이스로부터 유사성에 근거한 검색을 하므로 검색시간이 길어지거나 부적절한 사례가 조회될 수 있는 단점도 가지고 있다. 그러므로 본 연구에서는 효율적·효과적으로 진단을 수행하는 설비 고장진단 시스템을 개발하기 위하여 규칙기반 추론 기법과 사례기반 추론 기법을 혼합한 하이브리드 시스템(Hybrid System)의 개발 방법을 제시하고자 한다.

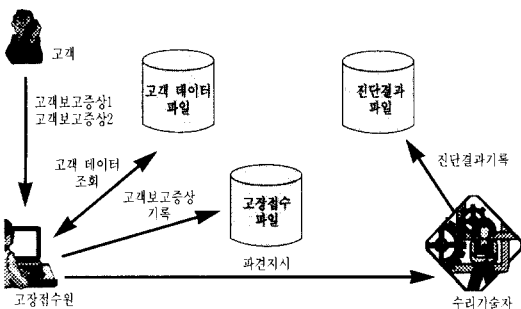
본 논문은 총 6절로 구성되어 있다. 제 2절에서는 본 연구에서 모델로 삼고 있는 A사의 현재 설비 고장진단 문제에 대하여 살펴 보고, 개선 방안을 고찰해 본다. 제 3절에서는 사례기반 추론 기법과 다른 인공지능 기법들을 혼합한 하이브리드 시스템의 과거 연구들을 살펴본다. 제 4절에서는 본 연구에서 개발한 하이브리드 시스템인 R&C-EMD의 구체적인 설계방법과 개발과정을 설명하고, 제 5절에서는 R&C-EMD의 성능을 규칙기반 추론만으로 개발한 시스템 및 사례기반 추론만으로 개발한 시스템과의 비교를 통하여 평가한다. 제 6절에서는 본 연구의 의의 및 한계와 향후 연구방향을 제시한다.

2. 설비 고장진단 문제

본 연구에서는 A사의 설비 고장진단 과정을 연구 대상으로 하고 있다. 현재 A사는 복사기를 중심으로 여러 가지 사무용 기기를 생산·판매하고 있으며, 판매한 후에 제품에서 발생하는

고장을 수리하고, 부품이나 소모품도 공급하고 있다. 본 연구에서는 주로 복사기 관련 데이터를 이용하는데, 현재 A사에서는 복사기의 고장 진단을 전적으로 수리기술자(TR : Technical Representative)에게 맡겨 두고 있다. 하지만 고객의 수가 증가하고, 현장에 판매·설치된 복사기의 수가 증가함에 따라, 고객의 애프터 써어비스 요청에 신속히 대응하지 못하고 있다. 그 주된 이유는 TR들의 수가 부족하고 이직이 잦아서 경력이 짧으며, 그로 인하여 축적된 지식이 부족하여 고장을 진단하는데 오랜 시간이 걸리기 때문이다.

A사의 고장접수의 처리과정을 간략히 살펴보면 [그림 2-1]과 같다. 고객이 구입한 설비에 고장이 발생하면, 고객은 써어비스 센터에 전화를 걸어서 고장을 신고한다. 이 때에 고객은 자신이 관찰한 설비의 이상증상을 고장접수원에게 말하며 고장접수원은 이 내용들을 고장접수 파일에 입력한다. 고장접수원은 해당 고객의 지역을 담당하는 TR에게 고객의 위치와 보고된 증상을 전달하고, TR을 고객의 장소로 파견한다. 고객의 장소에 파견된 TR은 현장에서 설비의 이상증상을 관찰하고 기본적인 검사를 한 후에 진단 및 수리를 수행한다. 설비 고장을 처리한 결과는 사후관리를 위하여 관리 부서에 보고되고 진단결과를 진단결과 파일에 기록하게 된다.



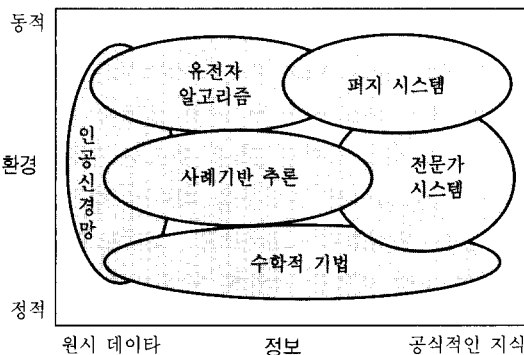
[그림 2-1] 현재의 고장접수 처리과정

위의 과정을 보면, 고객이 보고한 이상증상이 TR에게 전달되기는 하지만, 이는 단지 참고사항에 그칠 뿐이며 TR의 고장진단 행위에는 아무런 도움을 주지 못하고 있다. 즉, 정보가 제대로 활용되지 못하고 있는 것이다. 고객이 보고한 이상증상은 그것이 비전문가에 의해서 관찰된 증상이므로 추후에 TR에 의하여 관찰된 이상증상과는 차이가 있을 수 있다. 하지만, 우리는 고객 써어비스의 신속화를 위해서 이 고객보고증상을 적극적으로 활용할 필요가 있다. 고객보고증상은 크게 두 가지 면에서 활용될 수 있다. 첫 째는 써어비스 센터의 기능 확장이다. 만일 고장접수원이 고객이 보고한 증상으로 그 고장의 원인을 파악하여 고장난 설비에 대한 간단한 처치를 고객에게 알려줄 수 있다면, 굳이 TR을 현장에 파견하지 않고도 고장이 수리될 수 있을 것이다. 즉, 써어비스 센터에 Help Desk 기능이 추가되는 것이다. 두 번째는 TR의 진단 및 처치 활동에 대한 지원이다. 현장에 파견된 TR은 필요한 부품을 가지고 가지 않아서 재방문을 하여야 하는 경우가 종종 발생한다. 그러므로, 고객보고증상에 의하여 고장 원인을 파악할 수 있다면, TR은 필요한 부품을 가지고 현장으로 가게 되므로 고장 수리를 신속하게 수행할 수 있게 되는 것이다.

설비 고장진단 문제에 사례기반 추론을 이용한 기존 연구를 살펴보면, 이재식과 전용준이 설비의 기종번호와 기계번호, 이상증상을 이용하여 고장부위를 파악하는 연구를 수행하였고 [이재식과 전용준, 1995], 비행기 엔진의 고장진단 분야에는 Magaldi의 연구[Magaldi, 1994]와 Manago and Auriol의 연구[Manago and Auriol, 1996]가 있다. 한편 Bub *et al.*은 배터리 격리판 (Separator)과 같은 전자장비의 고장진단에 사례기반 추론을 적용하였다[Bub *et al.*, 1994].

3. 사례기반 추론과 혼합한 하이브리드 시스템

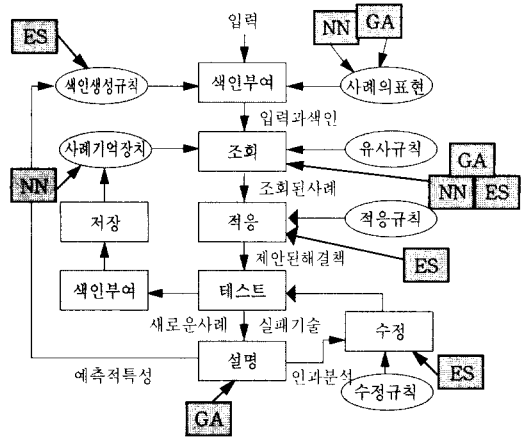
하이브리드 지능 시스템은 현재 연구와 개발이 활발히 진행되고 있는 분야이다. 인공지능의 각 기법들은 컴퓨터 시스템을 통하여 구현할 수 있는 다양한 인간의 지능 측면을 나타내는데, [그림 3-1]에서 보듯이 사용 정보와 적용 환경의 성격에 따라 그 기법이 효과적으로 활용되는 영역이 다르다. 그러므로 하나의 문제를 해결할 때에 각 기법들을 혼합하여 사용함으로써 인간의 인지 과정이 좀 더 실용적으로 반영된 시스템을 개발할 수 있다[Medsker, 1995].



[그림 3-1] 문제의 환경과 정보에 따라 구분된 문제 해결 기법

사례기반 추론을 다른 인공지능 기법들과 혼합하기 위한 초기 연구의 대부분은 규칙기반 추론과의 혼합에 초점을 두어 왔는데, 다른 인공지능 기법들과의 혼합에 대한 연구도 진행되고 있다[Foster, 1992]. 사례기반 추론은 규칙기반 추론 이외에도 다른 인공지능 기법들과 혼합하

여 각 기법의 장점을 취함으로써 좀 더 강력하고 효율적인 시스템이 만들어 지게 된다. [그림 3-2]는 사례기반 추론의 기본적인 프로세스 [Riesbeck and Schank, 1989]에 혼합적으로 사용될 수 있는 다른 인공지능 기법들을 표시한 것이다.



(ES:Rule-based Expert Systems, NN:Neural Networks, GA:Genetic Algorithms)

[그림 3-2] 사례기반 추론 프로세스에 적용 가능한 인공지능 기법들

규칙기반 추론은 사례기반 추론의 프로세스 중에서 조회, 적용, 수정 및 색인생성 단계 등 규칙이 요구되는 모든 단계에 적용될 수 있다. 규칙기반 추론은 사례기반 추론을 보조하는 기법으로만 사용될 수 있는 것은 아니다. 이 두 기법은 <표 3-1>에서 보는 바와 같이[Watson, 1997] 각기 고유한 특성을 가지고 있으므로 규칙이 명확한 부분과 불명확한 부분이 혼재해 있는 문제에 두 기법을 혼합하여 사용하면 서로의 단점을 보완하는 효과를 얻을 수 있다[Mott, 1993].

〈표 3-1〉 규칙기반 시스템과 사례기반 추론 시스템의 비교

특 성	규칙기반 추론 시스템	사례기반 추론 시스템
문제영역	한정되고 잘 정의된 영역, 시간에 따라 변하지 않고 안정된 영역, 강력한 문제 영역 이론이 존재	폭 넓고 잘 정의되지 않은 영역, 시간에 따라 변하기 쉬운 동적인 영역, 문제 영역 이론이 약함
지식표현	사실(Facts), IF-THEN 규칙	사례
시스템이 제공하는 것	해답과 신뢰도	해답과 과거사례
설 명	규칙의 역추적	과거사례 제시
학습기능	없음, 수동으로 새로운 규칙을 추가.	있음, 사례의 획득에 의해서 학습이 이루어짐.

법률 분야에서 법률문제의 해석[Rissland and Skalak, 1991] 및 사고 배상 분야[Vossos and Zeleznikow, 1992]에 규칙기반 추론과 사례기반 추론이 혼합 적용되었다. 사례기반 추론은 관련 사례를 검색하기 위하여 사용되었고, 규칙기반 추론은 인과관계에 의한 법률의 적용 및 배상액의 산정에 사용되었다. 의학 분야에서는 의학진단 보고서를 작성하기 위하여[Rissland *et al.*, 1993], 공학 분야에서는 플라스틱 사출성형(Injection Molding) 작업의 프로세스를 통제하기 위하여 두 기법이 혼합되어 사용되었다 [Shelesh-Nezhad and Siores, 1997]. Leake *et al.*은 사례기반 추론의 프로세스 중 적응단계의 성능을 향상시키기 위해 두 기법을 혼합하여 사용하였는데, 사례기반 추론은 과거의 적응 경험으로부터 적합한 성공 사례를 검색하는데 사용하였고, 규칙기반 추론은 과거의 성공 사례로부터

추출된 규칙을 추후의 적응단계에 활용하기 위하여 사용되었다[Leake *et al.*, 1996].

유전적 알고리즘(Genetic Algorithm)은 사례의 표현을 최적화하기 위하여 속성을 선정하는 작업에 이용될 수 있으며, 사례베이스가 방대할 때에 효율적으로 사례들을 탐색하는 메커니즘으로 활용될 수 있다[Medsker, 1995]. Oppacher and Deugo는 새로이 추가되는 사례가 과거의 사례와 충돌하거나 중복되는 문제를 다루었다. 즉, 유전적 알고리즘을 이용해서 학습 및 사례베이스의 크기를 통제하기 위한 방법을 제시하였다[Oppacher and Deugo, 1991]. Louis *et al.*은 유전적 알고리즘의 결과를 설명하기 위하여 사례기반 추론을 이용하였다[Louis *et al.*, 1993].

인공신경망(Artificial Neural Networks)과 사례기반 추론은 새로운 문제를 해결하기 위해서 과거부터 저장되어온 많은 사례(Historical Examples)를 필요로 한다는 점에서 유사하다. 그래서 두 기법은 서로간에 선택 대안이 될 수 있으며 어느 정도 경쟁관계에 있다고 할 수 있다 [Medsker, 1995]. 인공신경망은 데이터를 요약하는 능력이 뛰어나므로 사례의 표현을 함축적으로 하기 위하여 이용될 수 있으며, 사례의 조화에 있어서도 입력 문제 사례를 분석해서 사례기반 추론을 시작할 적당한 최초 사례 집합(A Good Set of Seed Cases)을 선정하는데 도움이 될 수 있다. 특히 사례기반 추론이 패턴 인식에 관련된 문제 영역을 다루는 것이라면 인공신경망을 이용하면 좀 더 효율적이 될 수 있다. Ajenstat *et al.*은 우유 생산에서 젖소의 모집단(Population)을 향상시키기 위해서 좀더 훌륭한 종우를 분류하고 예측하는데 인공신경망과 사례기반 추론을 혼합 적용하였다. 인공신경망과 사례기반 추론을 각각 사용하여 각 추론의 결과가 비슷하면 의사결정의 타당성이 커지고, 결과가

충돌하게 되면 더 자세한 분석을 제안하게 되는 장점을 나타냈다[Ajenstat *et al.*, 1993]. 의학 분야에서 Reategui *et al.*은 선천성심장질환 진단에 인공신경망과 사례기반 추론을 혼합 적용하였는데, 이 연구에서 인공신경망은 진단의 가설을 만드는데 사용되었고, 그 가설을 입증하기 위해 과거의 비슷한 사례를 검색하는데 사례기반 추론이 사용되었다[Reategui *et al.*, 1997].

그 밖에 사례기반 추론 기법이 포함된 하이브리드 시스템은 퍼지논리와의 혼합[Stahl, 1996], 모델기반 추론과의 혼합[Watson and Abdullah, 1994] 등에 대한 연구가 수행되었으며, 세 개 이상의 기법을 혼합한 하이브리드 시스템도 개발되었다[Sano, 1992; Lertpalangsunti and Chan, 1997].

4. 하이브리드 고장진단 시스템 : R&C-EMD

본 연구에서는 고장진단을 수행하는 프로토타입 시스템을 세 개 개발하였다. 첫번째는 규칙기반 시스템인 R-EMD(Rule-based Equipment Malfunction Diagnostic system)이고, 두번째는 사례기반 시스템인 C-EMD(Case-based Equipment Malfunction Diagnostic system)이며, 마지막 세번째는 규칙과 사례기반의 하이브리드 시스템인 R&C-EMD(Rule & Case-based Equipment Malfunction Diagnostic system)이다. 본 절에서는 R&C-EMD와 C-EMD에서 사용되는 사례의 구조 및 유사도 측정방법과 사례의 조회, 그리고 R&C-EMD와 R-EMD에서 사용되는 규칙의 추출방법 등에 대하여 기술한다.

4.1 사례의 구조

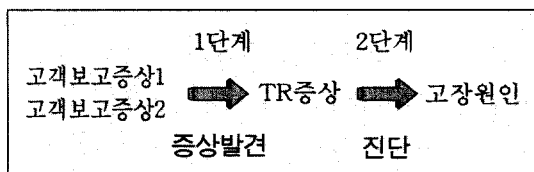
본 연구에서는 사무기기 제조·판매 업체인 A사로부터 복사기의 고장접수 및 진단사례를 총 1000개 수집하여, 900개는 사례베이스에 저장하고 나머지 100개는 개발한 시스템들의 성능 평가를 위한 테스트용으로 사용하였다. 사례베이스 안에는 각 사례들이 <표 4-1>과 같이 하나의 관계형 데이터베이스 테이블 안에 네 개의 속성으로 표현되어 저장되었다. 관계형 데이터베이스 구조로 사례를 저장한 이유는, 현재 A사에서 고장접수 및 진단결과를 저장할 때 관계형 데이터베이스 형식을 사용하므로 데이터 구조를 거의 변환시키지 않고도 사례기반 시스템의 입력자료로 활용할 수 있기 때문이다. 즉 사례베이스가 일반 데이터베이스로부터 바로 사례를 입수할 수 있으므로 일반 데이터베이스와 사례베이스간의 호환성을 제공하고, 사례의 저장을 위한 별도 공간의 필요성이 없어진다.

<표 4-1> 사례의 구조

속 성	자 료 형	내 용
고객보고증상1	문자	분류 코드
고객보고증상2		
TR증상		
고장원인		

<표 4-1>에서 고객보고증상이란 '고객이 자신이 관찰한 설비의 이상증상을 고장접수원에게 이야기 한 내용'이며 TR증상은 'TR 즉 수리기술자가 실제 현장에서 발견하게 되는 설비의 이상증상'이다. 고객보고증상, TR증상, 고장원인은 모두 코드로 이루어져 있다. 본 연구에서의 진단은 [그림 4-1]에 나타난 것처럼 고객보고증상으로부터 시작된다. 즉, 제 1단계에서 두 개의 고객보고증

상으로부터 TR이 파악하는 TR증상이 추론되며, 제 2단계에서는 제 1단계에서 제시된 TR증상으로부터 최종적인 진단사항인 고장원인을 추론하게 된다.



[그림 4-1] 진단의 단계

고객보고증상 코드는 <표 4-2>와 같이 전체가 5자리로 이루어져 있는데, 1로 시작하면 '복사지'를 나타내고, 5로 시작하면 '기계상태'를 나타낸다. 그리고 11로 시작하면 '복사지 잦', 12로 시작하면 '복사지 입출력 농도'를 나타내고, 최종적으로 11001이면 '복사시 자주 걸린다', 11002면 '복사시 들어가지 못한다' 등으로 계층적인 구조를 이루고 있다. TR증상 코드도 고객보고증상 코드와 마찬가지로 <표 4-3>과 같이 계층적인 구조이며, 전체가 3자리로 이루어져 있다.

<표 4-2> 고객보고증상 코드의 계층적 구조

복사지 (1XXXX)	복사지 잦 (11XXX)	11001 복사시 자주 걸린다.
		11002 복사시 들어가지 못한다.
	
	11064 복사시 수동급지대에서 걸린다.	
복사지 입출력 농도 (12XXX)	12001 프린터가 출력이 안된다.	
	
	12062 복사시 여러 장 겹쳐서 나온다.	
.....
기계상태 (5XXXX)	기계몸체 (52XXX)	52001 몸체가 안내려 간다.
		52002 램프에 불이 안들어 온다.
	
		52069 입구쪽에서 덜덜덜 소리가 난다.

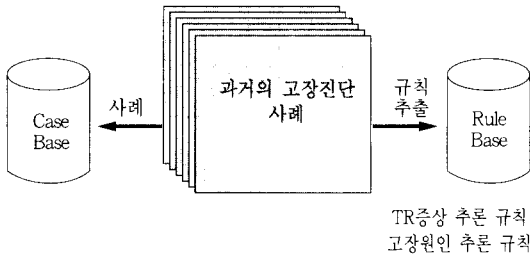
<표 4-3> TR증상 코드의 계층적 구조

Copy Quality/ Print Quality/ 인자 Quality (2XX)	Digital관련 (21X)	211 Dot 빠짐
		212 문자 빠짐
		213 행 간격의 불균일
	
Color/Editor (23X)		231 색변짐
		232 색 Unbalance
	
.....
기계동작(3XX)

4.2 규칙의 추출

규칙기반 전문가 시스템의 가장 중요한 성공 요인으로는 전문가로부터의 충실한 지식 획득, 체계적인 지식의 정리 및 구성 등을 들 수 있는데, 전문가의 추론 과정을 정확히 이해하고 이를 IF-THEN의 규칙의 형태로 모델링하는 것은 그리 용이하지 않다. 본 연구에서는 [그림 4-2]와 같이 과거의 고장진단 사례로부터 규칙베이스와 사례베이스를 각각 생성해 낸다. 추출된 규칙은 [그림 4-1]의 제 1단계에서 사용되는 'TR 증상 추론규칙'과 제 2단계에서 사용되는 '고장 원인 추론규칙'의 두 종류가 있다. TR증상을 추론하는 규칙을 추출하는 문제에는 영역전문가(Domain Expert)가 존재하지 않는다. 고장원인을 추론하는 규칙을 추출하는 문제에는 TR이라는 영역전문가가 존재하지만, 지식획득의 병목 현상을 탈피하고 또한 향후에 새로운 진단사례가 누적된 후에 규칙을 재정리하는 과정을 자동화하기 위하여 TR과의 면담을 통하여 규칙을 추출하지는 않았다. 즉, 규칙을 추출할 때에, 일반적인 규칙기반 전문가시스템 개발과정에서처럼 전문가나 기술자와의 면담을 통해서 추출하는 것이 아니라, 사례의 발생빈도(Frequency)를

기반으로 추출하는 것이다.



[그림 4-2] 규칙베이스와 사례베이스의 생성

<표 4-4>는 수집된 실제 사례의 일부를 보여 주고 있다. 이 사례들을 분석하여 특정한 고객 보고증상1과 고객보고증상2의 조합에 대하여 특정한 TR증상이 발생한 빈도로부터 TR증상 추론규칙을 추출해내고, 특정한 TR증상에 대하여 특정한 고장원인이 발생한 빈도로부터 고장원인 추론규칙을 추출해내는 것이다.

<표 4-4> 실제 과거 사례의 예

고객보고증상1	고객보고증상2	TR증상	고장원인
51002	11001	200	31
51002	51006	399	20
30001	30001	430	26
13062	52071	506	20
11003	52070	504	24
12031	11002	100	21
13038	11001	220	32
52033	11001	341	24
13038	42068	284	32
11001	54032	400	29
13006	13003	268	30
13069	13067	200	31
12002	11009	200	30
12031	11002	506	24
11002	12031	450	34
13038	42067	240	32
42068	52003	104	24
11002	12031	109	24
13004	14063	200	33
11002	12031	268	30
13038	52071	240	22
11004	11001	100	30
13002	13002	268	20
11001	13068	274	23
52035	12002	506	20
12031	11002	200	31
11004	52071	506	32
13001	11001	222	27
51031	42068	200	32
13035	13035	200	32
13006	13006	268	32
11001	41033	104	24

TR증상 추론규칙을 추출하는 과정은 다음과 같다. <표 4-5>를 살펴보면, 고객보고증상1이 11001이고 고객보고증상2가 13038인 사례는 전체 사례 900개 중에서 10개인데, 이 고객보고증상의 조합에 대해 TR증상이 200인 경우는 5개이다. 이 5개의 빈도를 개별빈도수라고 명명하였는데, 개별빈도수가 최소한 2 이상인 경우에만 규칙으로 인정하였으며, 각 개별빈도수의 순위를 기준으로 특정 고객보고증상의 조합에 대한 TR증상의 1순위, 2순위, 3순위를 정했다.

<표 4-5> TR증상 추론규칙을 추출하기 위한 테이블

고객보고증상1	고객보고증상2	발생빈도수/전체빈도수	TR증상	개별빈도수/발생빈도수
11001	13038	10/900	① 200	5/10
			② CBR로 해결	
			③ CBR로 해결	
11001	13006	11/900	① 200	5/11
			② 268	4/11
			③ CBR로 해결	
12031	11002	82/900	① 100	31/82
			② 200	14/82
			③ 268	7/82
.
13006	13006	20/900	① 268	14/20
			② 200	2/20
			③ CBR로 해결	
.
총빈도수 합계		415/900	254/415	

만일 개별빈도수만으로는 세 개의 TR증상을 다 채울 수 없는 고객보고증상의 조합에 대해서는 사례기반 추론(CBR)을 사용하도록 하였다. 즉, 개별빈도수를 이용하여 1, 2순위까지만 규칙

이 발견된 경우에는 3순위를, 1순위까지만 규칙이 발견된 경우에는 2, 3순위를, 그리고 전혀 규칙이 발견되지 않은 경우에는 1, 2, 3순위의 TR증상 모두를 사례기반 추론을 사용하여 추론하도록 하였다. 이러한 과정을 거쳐서 [그림 4-3]과 같은 TR증상 추론규칙들을 51개 추출하였다.

```

IF  고객보고증상1=12031 AND
    고객보고증상2=11002
THEN
    TR증상 1순위 =100
    TR증상 2순위 =200
    TR증상 3순위 =268
IF  고객보고증상1=11001 AND
    고객보고증상2=13006
THEN
    TR증상 1순위 =200
    TR증상 2순위 =268
    TR증상 3순위 =CBR로 해결
IF  고객보고증상1=11001 AND
    고객보고증상2=13038
THEN
    TR증상 1순위 =200
    TR증상 2순위 =CBR로 해결
    TR증상 3순위 =CBR로 해결
    
```

[그림 4-3] TR증상 추론규칙의 예

고장원인 추론규칙도 마찬가지로의 과정을 거쳐서 추출하였는데, <표 4-6>과 같은 테이블을 이용하여 특정 TR증상에 대한 특정 고장원인의 개별빈도수를 분석하여 [그림 4-4]와 같은 규칙들을 31개 추출하였다.

<표 4-6> 고장원인 추론규칙을 추출하기 위한 테이블

TR증상	발생빈도수/ 전체빈도수	고장원인	개별빈도수/ 발생빈도수
222	44/900	①31	14/44
		②32	13/44
		③24	7/44
200	166/900	①31	71/166
		②32	65/166
		③30	7/166
.	.	.	.
100	106/900	①21	35/106
		②24	20/106
		③31	9/106
101	10/900	①24	3/10
		②32	3/10
		③CBR로 해결	
103	7/900	①20	4/7
		②CBR로 해결	
		③CBR로 해결	
총빈도수 합계	857/900		600/857

```

IF  TR증상 =100
THEN
    고장원인 1순위 =21
    고장원인 2순위 =24
    고장원인 3순위 =31
IF  TR증상 =101
THEN
    고장원인 1순위 =24
    고장원인 2순위 =32
    고장원인 3순위 =CBR로 해결
IF  TR증상 =103
THEN
    고장원인 1순위 =20
    고장원인 2순위 =CBR로 해결
    고장원인 3순위 =CBR로 해결
    
```

[그림 4-4] 고장원인을 추론하는 규칙

여기서 발견된 규칙들은 일반적인 전문가 시스템에서 사용되는 규칙들처럼 규칙간의 연결(Chaining)이 이루어지는 것은 아니고, 각 규칙들이 개별적으로 사용될 뿐이다. TR증상 추론 규칙과 고장원인 추론규칙은 R&C-EMD의 규칙기반 모듈(Rule-based Module)의 규칙베이스에 저장되며, 사례기반 추론 시스템과 혼합되어 하이브리드 시스템을 구축하는데 이용된다.

4.3 사례의 조회

사례기반 추론에서는 사례를 조회하기 위해서 과거에 저장된 사례와 입력되는 문제 사례간의 유사성을 측정하게 되는데, 본 연구에서는 문자열의 일치 정도를 평가해서 유사성을 결정하는 방법을 이용하였다[Lee and Xon, 1996]. 유사도는 각 속성 코드의 좌측으로부터 몇 개까지의 문자가 일치하는가에 따라 결정되는데, 계산을 위한 수치들은 <표 4-7>과 같다. 이러한 계산 방식을 사용하는 이유는 고객보고증상과 TR증상이 계층적인 구조를 가지는 코드 체계이기 때문인데, 코드의 좌측으로부터 한 문자가 일치하면 분류체계상 한 수준의 분류가 일치하는 것이며, 두 문자가 일치하면 두 수준의 분류가 일치하는 것이다. 그러므로 같은 그룹에 속하는가를 유사성을 판정하는 기준으로 본다면, 좌측으로부터 몇 개까지의 문자가 일치하는가에 따라 유사도 값을 줄 수 있게 된다.

<표 4-7> 유사도 점수의 계산을 위한 유사도 값 및 가중치

속 성	1 문자	2 문자	3 문자	4 문자	완전 일치	가중치 1	가중치 2
고객보고증상1	0.1	0.2	0.3	0.5	1	60	-
고객보고증상2	0.1	0.2	0.3	0.5	1	40	-
TR증상	0.3	0.5	1	-	-	-	100

'가중치 1'은 TR증상을 예측하는 단계에서 적용되는데, 고객보고증상1과 고객보고증상2의 가중치를 각각 60과 40으로 정하였다. 이 수치는 각각의 가중치를 0과 100사이에서 변경시켜가면서 예측 적중률이 가장 높은 조합을 찾는 실험을 통해 도출된 값이다.

본 연구에서는 사례를 조회할 때에 유사도 점수를 기준으로 미리 정해진 비율만큼의 사례를 조회한 후 조회된 사례에서만 총유사도 점수(TSS: Total Similarity Score)를 구하는 N-Best Match방법을 사용하였다[Shimazu *et al.*, 1993]. 예측 적중률이 가장 높은 N-Best Match 비율은 실험을 통하여 결정하였는데, 비율을 5%에서 50%사이에서 변화시켜가면서 실험한 결과 최종적으로 N-Best Match 비율은 유사도 점수 상위 25%로 정하였다. [그림 4-5]는 사례를 조회할 때에 각 사례의 유사도 점수가 아닌 총유사도 점수에 근거하여 조회하는 것이 타당함을 보여 주고 있다.

고객보고증상1	고객보고증상2	TR증상	유사도 점수	TSS
11005	13068	104	8	13.25
11005	52035	506	7.5	
12061	52069	504	7.5	
12061	12031	102	5.25	
11002	12031	104	5.25	9
11002	12031	100	5.25	
11002	12031	200	5.25	
11001	12003	100	5.25	14.26
11001	52071	100	3.75	
11009	54031	200	3.75	
...	

[그림 4-5] 총유사도 점수의 계산

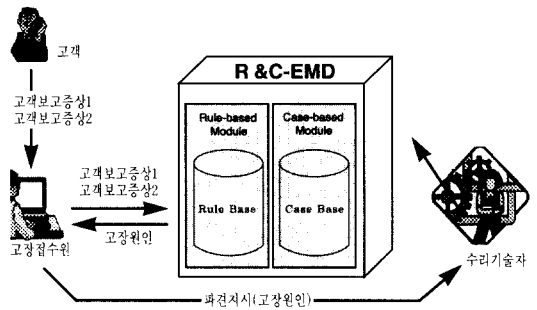
[그림 4-5]에서 나타난 사례들은 고객보고증상1은 11005, 고객보고증상2는 12061을 입력하여 TR증상을 찾고자 했을 때 조회된 사례들이다. 만일 유사도 점수만으로 TR증상에 대한 3개의 해결안을 제시한다면 유사도 점수가 8인 104,

유사도 점수가 7.5인 506과 504가 제시될 것이다. 하지만, TR증상 506과 504는 [그림 4-5]에서 보듯이 한 번씩 밖에는 조회되지 않았다. 즉, TR증상 506과 504는 과거에 거의 발생하지 않았으며 우연히 한번 발생한 예외적인 사례일 가능성이 있다. 과거에 거의 발생하지 않았던 사례라면 앞으로도 발생할 가능성이 크지 않기 때문에 이러한 사례를 해결안으로 제시할 경우에는 잘못된 가능성이 크다. 이러한 점을 보완하기 위해서 R&C-EMD와 C-EMD에서는 찾고자 하는 목적속성이 동일한 사례들의 유사도 점수를 모두 더하여 구한 총유사도 점수를 사용하여 해결안을 제시하게 된다. [그림 4-5]를 보면 TR증상이 100인 사례가 3개 있는데 이들의 유사도 점수인 5.25, 5.25, 3.75를 모두 더하면 총유사도 점수가 14.25가 된다. 14.25는 가장 높은 총유사도 점수이므로 TR증상 100이 1순위로 제시된다. 이와 같은 방법으로 2순위는 TR증상 104, 3순위는 TR증상 200이 된다. R&C-EMD와 C-EMD는 총유사도 점수가 상위 3위권내에 있는 해결책을 제시하여, 사용자가 이들 중 선택하도록 한다. 이와 같이 TR증상을 복수로 제시하는 이유는 Sanders의 연구에서 나타나 있는 것처럼, 많은 문제들에 있어서 하나의 정확한 해결책이 존재하는 것이 아니라 받아들일만한 범위의 해결책이 존재하기 때문이다[Sanders, 1991].

4.4 R & C-EMD의 구현

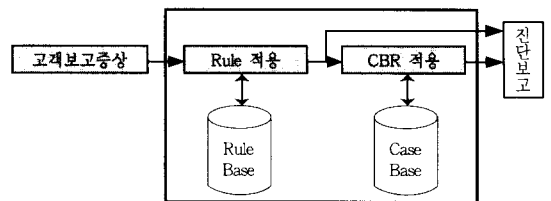
R&C-EMD를 사용하는 과정은 [그림 4-6]과 같다. 고객이 전화로 고장접수원에게 고객보고 증상 1, 2를 이야기 하면 고장접수원은 이를 시스템에 입력한 후, 시스템의 내부적인 진단과정을 거쳐 최종적인 진단사항인 예상 고장원인을 출력받게 된다. 이 고장원인의 내용은 고장접수

원이 TR에게 파견을 지시할 때 함께 전달된다. 이러한 예비적 진단을 통하여 제 2절에서 언급한 바와 같이 고장접수원이 고객에게 간단한 수리방법을 알려줄 수 있고, 현장에 파견될 TR이 이 예상 고장원인을 감안하여 필요한 부품을 가지고 갈 수 있게 된다.



[그림 4-6] R&C-EMD의 사용

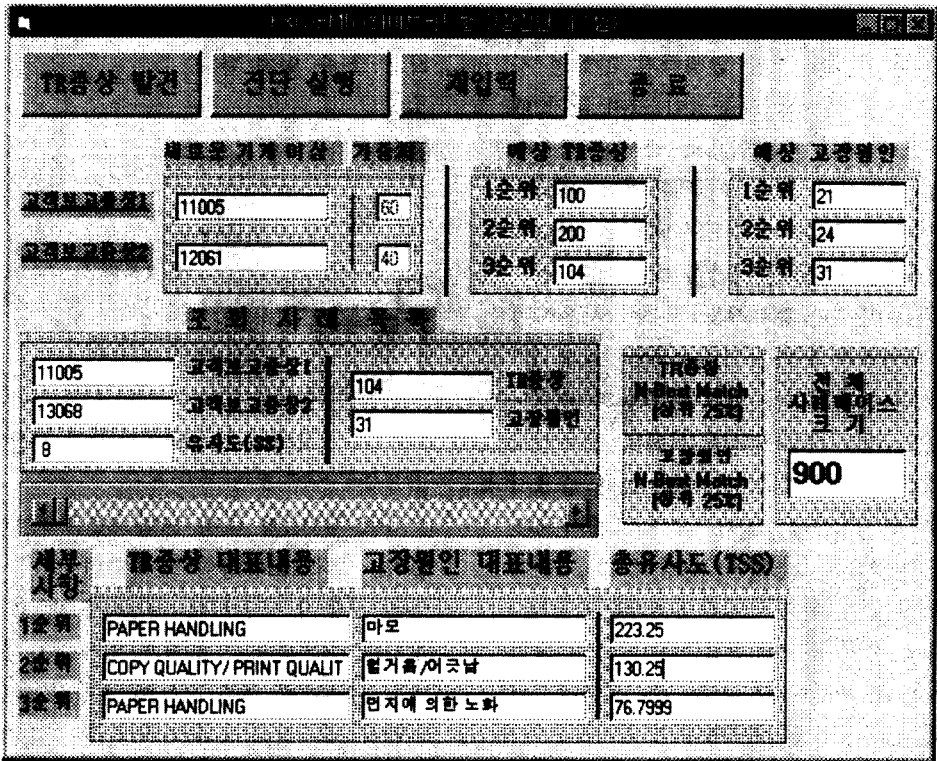
R&C-EMD의 내부 진단과정은 [그림 4-7]과 같다. 고객보고증상이 입력되면 먼저 규칙기반 추론 모듈이 작동하여 해결안을 찾고, 만일 규칙기반 추론만으로 문제가 해결되지 않은 경우에는 사례기반 추론 모듈이 추가로 작동되어 해결안이 제시된다. 규칙기반 추론을 먼저 적용하는 이유는, 규칙기반 추론은 사례기반 추론에 비해 진단을 수행하는 속도가 빠르고 시스템의 자원을 상당히 적게 소모하므로 사례기반 추론을 먼저 적용했을 경우 생길 수 있는 시스템의 자원 낭비를 줄일 수 있고 좀 더 효율적으로 진단을 수행할 수 있기 때문이다.



[그림 4-7] R&C-EMD의 내부 진단과정

R&C-EMD는 한글 Windows 95와 Visual Basic 4.0, 그리고 Access 7.0 데이터베이스 관리 시스템을 사용하였으며 Pentium 150Mhz CPU

와 메모리가 32MB인 Personal Computer상에서 구현되었다. [그림 4-8]은 R&C-EMD의 실행화면을 보여주고 있다.



[그림 4-8] R&C-EMD 진단 실행 화면

먼저 사용자인 고장접수원이 고객보고증상 1(11005)과 고객보고증상2(12061)를 입력한 후에 좌측 상단의 'TR증상 발견' 버튼을 누르면, 내부적으로 사례들의 유사도 점수를 구한다. R&C-EMD는 상위 25%의 N-Best Match 비율을 사용하므로 900개의 사례 중에서 225개의 사례가 조회된 후, 그 조회된 사례에서만 총유사도 점수를 계산하여 상위 3개의 해결안을 예상 TR증상 1순위, 2순위, 3순위로 오른쪽에 제시하게 된다. 예상 TR증상이 제시된 후 '진단실행'

버튼을 누르면, 자동적으로 예상 TR증상 1순위가 입력되어 최종적으로 예상 고장원인 1순위, 2순위, 3순위가 제시된다. 고장원인을 찾는 메카니즘은 TR증상을 찾는 메카니즘과 같다. [그림 4-8]에서 R&C-EMD가 제시하는 고장원인들을 보면 1순위가 21, 즉 '마모' 이고, 2순위는 24, 즉 '헐거움/어긋남'이며, 3순위는 31, 즉 '먼지에 의한 노화'이다. 예상 TR증상과 예상 고장원인의 각 코드를 설명하는 내용은 아래쪽에 나타난다.

5. R&C-EMD의 성능 평가

제 4절의 서두에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 R-EMD, C-EMD, R&C-EMD 등 세 개의 시스템을 개발하였는데, R-EMD와 C-EMD는 R&C-EMD의 성능을 평가하기 위해서 개발한 것이다. R-EMD는 과거 사례에서 추출된 규칙으로 이루어진 규칙베이스만으로 진단을 수행하는 시스템이며, C-EMD는 사례베이스만으로 진단을 수행하는 시스템이다. R&C-EMD의 성능 평가는 테스트용으로 남겨 놓은 100개의 사례를 사용하여 수행하였다.

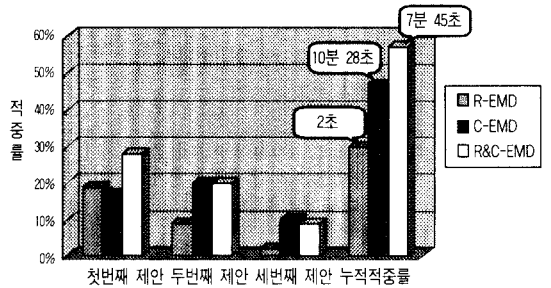
R&C-EMD의 진단과정은 제 4.1절에서 언급한 바와 같이 제 1단계인 'TR증상 예측'과 제 2단계인 '고장원인 진단'의 두 단계로 이루어져 있다. 그러므로 본 절에서는 두 단계의 적중률을 각각 살펴본다. 먼저, R&C-EMD의 제 1단계의 성능을 테스트한 결과는 <표 5-1>과 같다.

<표 5-1> 각 진단 시스템의 TR증상 적중률과 수행시간 비교

진단 시스템	첫번째 제안	두번째 제안	세번째 제안	누적 적중률	수행시간
R-EMD	19%	9%	2%	30%	2초
C-EMD	17%	20%	10%	47%	10분 28초
R&C-EMD	28%	20%	9%	57%	7분 45초

TR증상을 예측함에 있어서, <표 5-1>에서 보듯이 R-EMD는 30%, C-EMD는 47%, R&C-EMD는 57%의 적중률을 나타내고 있다. 각 시스템의 수행 소요시간을 비교하기 위하여 100개의 사례를 연속적으로 입력하여 각각의 결과를 제시하는데 걸리는 시간을 시스템 내부적으로 측정하였다. 수행시간은 R-

EMD가 2초, C-EMD가 10분 28초, 그리고 R&C-EMD가 7분 45초 걸렸다. 즉, R&C-EMD는 적중률이 R-EMD나 C-EMD보다 월등히 높으면서도, C-EMD보다 수행시간이 짧게 걸렸다. 이상의 결과를 그래프로 나타내면 [그림 5-1]과 같다.



[그림 5-1] TR증상 적중률과 소요시간 그래프

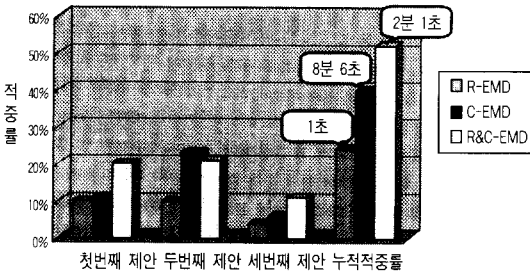
R&C-EMD의 진단 과정의 제 2단계인 고장원인 진단의 성능을 테스트한 결과는 <표 5-2>와 같다. 고장원인은 제 4.4절에서 언급한 바와 같이 제 1순위로 제시된 TR증상만을 가지고 진단하는 것이다.

<표 5-2> 각 진단 시스템의 고장원인 적중률과 수행시간 비교

진단 시스템	첫번째 제안	두번째 제안	세번째 제안	누적 적중률	수행시간
R-EMD	10%	10%	4%	24%	1초
C-EMD	11%	23%	6%	40%	8분 6초
R&C-EMD	20%	21%	11%	52%	2분 1초

고장원인을 진단함에 있어서, <표 5-2>에서 보듯이 R-EMD는 24%, C-EMD는 40%, R&C-EMD는 52%의 적중률을 나타냈고, 수행시간은 R-EMD가 1초, C-EMD가 8분 6초, R&C-EMD가 2분 1초 걸렸다. 즉, TR증상 예측의 경우와 마찬가지로 R&C-EMD는 적중률이 R-EMD나

C-EMD보다 월등히 높으면서도, C-EMD보다 수행시간이 짧게 걸렸다. 이상의 결과를 그래프로 나타내면 [그림 5-2]와 같다.



[그림 5-2] 고장원인 적중률과 소요시간 그래프

Lee and Xon은 본 연구와 비슷한 고장진단 문제에 대하여 사례기반 추론 시스템인 CBEMD를 개발하였다[Lee and Xon, 1996]. 그들은 기종번호, 기계번호, TR증상을 이용하여 고장 부위를 예측하는 연구를 수행하였는데, 3개의 고장부위를 제시하여 46%의 적중률을 보였다. CBEMD의 구현은 본 연구에서보다는 성능이 떨어지는 486DX PC를 사용하였는데, 700개의 사례를 저장한 사례베이스를 이용하여 50개의 테스트 사례를 진단하는데 약 20분이 소요되었다. Lee and Xon의 연구 결과는 사례베이스의 크기, 테스트용 사례의 수, 그리고 구현된 PC의 성능 등에서 차이가 나므로 본 연구 결과와의 직접적인 비교에는 무리가 있다. 하지만, CBEMD는 사례기반만으로 구현된 시스템으로서 본 연구의 C-EMD와 흡사하다. 그러므로 일단 CBEMD와 C-EMD를 비교한 후에 그 성능차이를 R&C-EMD의 성능에 적용하여 두 연구 결과간의 비교를 시도하였다. 각 시스템의 실험 환경 및 결과는 <표 5-3>과 같다.

<표 5-3> R&C-EMD와 CBEMD의 성능 비교

진단 시스템	구현된 PC	사례베이스 크기	테스트용 사례의수	수행 시간	사례당 수행시간	적중률
CBEMD	486DX	700	50	20분	24.00초	46%
C-EMD	Pentium	900	100	18분34초	11.14초	40%
R&C-EMD	Pentium	900	100	9분46초	5.86초	52%

<표 5-3>에서 보듯이 C-EMD는 100개의 테스트용 사례에 대하여 제 1단계에서 10분 28초, 제 2단계에서 8분 6초를 소요하여 총 18분 34초를 소요하였다. 즉, 사례당 11.14초의 수행시간이 소요되었다. 반면 CBEMD는 사례당 24초를 소요하였는데 이는 C-EMD 수행시간의 2.15배가 된다. 하지만, CBEMD는 사례기반 추론을 한 번 수행하지만 C-EMD는 두 번을 수행하므로 2.15배라는 수치 자체가 구현된 PC간의 속도 차이를 그대로 반영한다고 볼 수는 없다. 그러므로 본 연구에서 사용한 Pentium PC의 속도가 486DX의 4배라고 가정해도 무리는 없다고 판단된다. 이러한 속도 차이를 감안하면, R&C-EMD와 CBEMD는 사례당 수행시간 면에서는 별 차이가 없다. 이렇게 R&C-EMD가 사례기반 추론을 두 번 수행하면서도 사례당 수행시간 면에서 CBEMD와 별 차이가 없는 것은 규칙기반 시스템이 사례기반 추론의 부담을 덜어주기 때문이다. 하지만 적중률 면을 동시에 고려하면 R&C-EMD가 CBEMD보다 성능이 우수하다고 할 수 있다. 특히 R&C-EMD는 TR증상을 직접 이용하는 것이 아니라 고객보고증상을 이용하므로 시스템의 용도 면에서 CBEMD보다는 고객 만족 지향적이라고 할 수 있다.

이상의 성능 실험의 결과 규칙기반 추론과 사례기반 추론을 각각 따로 사용하는 시스템보다는 하이브리드 시스템이 월등히 높은 성능을 나타

내는 것을 알 수 있다. 각 진단 시스템을 구축하는데 소요되는 비용 측면을 고려해 본다면, R&C-EMD는 규칙베이스와 사례베이스를 모두 개발해야 하기 때문에 초기 구축비용은 R-EMD나 C-EMD보다 더 많이 소요된다. 하지만, R&C-EMD가 성능면에서 R-EMD나 C-EMD보다 월등히 뛰어나기 때문에 잘못된 해결안으로 인한 비용 발생을 현저히 줄일 수 있으므로 실질적인 비용감소 효과가 있다고 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 설비에 이상이 발생하였을 때에 그 고장원인을 효율적·효과적으로 진단하기 위한 시스템인 R&C-EMD를 개발하였다. R&C-EMD의 특징은 크게 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째는, 진단을 위한 정보로서 수리기술자가 고장난 설비를 점검하며 발견한 이상증상을 이용하지 않고, 설비의 사용자인 고객이 발견한 이상증상을 이용한 것이다. 둘째는, 진단 기법으로서 규칙기반 추론과 사례기반 추론을 혼합하여 사용한 것이고, 마지막으로 셋째는, R&C-EMD의 규칙베이스에 저장할 규칙을 과거의 사례들의 발생빈도를 기준으로 추출함으로써 전문가로부터 규칙을 추출할 때에 겪게 되는 지식 획득의 병목현상을 탈피한 것이다. R&C-EMD의 성능을 실험한 결과, 수행 소요시간 면에서는 사례기반 시스템보다 짧고 규칙기반 시스템보다 길었지만, 고장원인 진단의 적중률 면에서는 다른 두 시스템보다 우수하였다.

R&C-EMD의 성능을 좀더 개선시킬 수 있는 향후 연구과제들을 제시하면 다음과 같다. 첫째는, 규칙 추출의 자동화이다. 본 연구에서는

Microsoft Excel을 이용하여 사례의 발생빈도를 계산해서 개발자가 규칙을 IF-THEN 형식으로 작성하였지만, 향후에는 사례가 일정기간 모아지면 정기적으로 사례베이스가 확대되면서 동시에 자동으로 규칙이 추출되어 규칙베이스에 저장되도록 하여야 한다. 그러기 위해서는 고장접수 및 진단결과를 기록하는 데이터베이스와 R&C-EMD사이에 자동 규칙추출 모듈이 개발되어야 할 것이다. 둘째는, 예측된 TR증상 1, 2, 3순위 모두를 고장원인 진단에 사용하도록 하는 것이다. R&C-EMD에서는 제 1단계에서 고객보고증상이 입력되어 TR증상 1, 2, 3순위가 제시되면, 제 2단계에서는 TR증상 1순위만 입력되어 고장원인 1, 2, 3순위가 제시되고 있다. 하지만, TR증상 1, 2, 3순위 각각에 대하여 고장원인 1, 2, 3순위를 찾아내어 총 9개의 고장원인을 가지고 이 중에서 가장 가능성이 높은 세 개의 고장원인을 제시할 수 있다면 진단의 적중률은 좀더 향상될 수 있을 것이다. 마지막으로 지적하고 싶은 것은 고객보고증상의 보장이다. R&C-EMD에서는 두 개의 고객보고증상을 입력하여 진단을 수행하지만, 좀더 많은 고객보고증상을 입력할 수 있으면 이상증상과 고장원인과의 관계를 좀더 명확하게 파악할 수 있을 것이다. 하지만, 이 문제는 시스템 개발자의 의지만으로 해결되는 것은 아니고 고객의 적극적인 협조가 있어야 해결이 가능하다.

참고문헌

- [1] 이재식, 전용준, "사례기반 추론에 근거한 설비이상 진단 시스템," 한국전문가시스템학회지, 1권, 2호 (1995), 85~102.
- [2] Ajenstat, J., B. Doormaal, J. Bigue, D. Bisant,

- D. Brown and R. Marchand, "Artificial Intelligence for Artificial Insemination," *Proc. of the AIFA Conf. : AI for Agriculture and Food, Equipment and Process Control*, Nimes, France, Oct 27-29 (1993), 275~284.
- [3] Foster, G., "Expert Systems to Help the Help Desk," *Business Communications Review*, Vol. 22, No. 10 (1992), 40~43.
- [4] Kolodner, J., *Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1993.
- [5] Leake, D. B., A. Kinley and D. Wilson, "Acquiring Case Adaptation Knowledge: A Hybrid Approach," *Proc. of the Nat'l Conf. on AI*, Vol. 1 (1996), 684~689.
- [6] Lee, J. S. and Y. X. Xon, "A Customer Service Process Innovation using the Integration of Data Base and Case Base," *Expert Systems with Applications*, Vol. 11, No. 4 (1996), 543~552.
- [7] Lertpalangsunti, N. and C. W. Chan, "Hybrid Intelligent System Architecture for Utility Demand Forecasting," *Proc. of Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering*, Vol. 1 (1997), 277~280.
- [8] Louis, S., G. McGraw and R. O. Wyckoff, "Case-based Reasoning Assisted Explanation of Genetic Algorithm Results," *J. of Experimental and Theoretical AI*, Vol. 5, No. 1 (1993), 21~37.
- [9] Magaldi, R. V., "CBR for Troubleshooting Aircraft on the Flight Line," *Proc. of IEE Colloquium on CBR : Prospects for Applications*, Digest No. 1994/057, London, UK, Mar 3 (1994), 6/1~6/9.
- [10] Medsker, L. R., *Hybrid Intelligent Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [11] Manago, M. and E. Auriol, "Using Data Mining to Improve Feedback from Experience for Equipment in the Manufacturing and Transport Industries," *Proc. of IEE Colloquium on Knowledge Discovery and Data Mining*, Digest No. 1996/198, London, UK, Oct 17 (1996), 1/1~1/9.
- [12] Mott, S., "Case-based Reasoning: Market Applications and Fit with Other Technologies," *Expert Systems with Applications*, Vol. 6, No. 1 (1993), 97~104.
- [13] Oppacher, F. and D. Deugo, "Integrating Case-based Reasoning with Genetic Algorithms," *Proc. of the Int'l Symposium on Computational Intelligence*, Vol. III, Milan, Italy, Sep 24-28 (1991), 103~114.
- [14] Reategui, E. B., J. A. Campbell and B. F. Leao, "Combining a Neural Network with Case-based Reasoning in a Diagnostic System," *Artificial Intelligence in Medicine*, Vol. 9, No. 1 (1997), 5~27.
- [15] Riesbeck, C. K. and R. L. Schank, *Inside Case-Based Reasoning*, Lawrence Erlbaum Associates, 1989.
- [16] Rissland, E. L. and D. B. Skalak, "CABARET: Rule Interpretation in a Hybrid Architecture," *Int'l J. of Man-Machine Studies*, Vol. 34, No. 6 (1991), 839~887.
- [17] Rissland, E. L., J. J. Daniels, Z. B. Rubinstein and D. B. Skalak, "Case-based Diagnostic Analysis in a Blackboard Architecture," *Proc. of the Nat'l Conf. on AI* (1993), 66~72.
- [18] Bub, R., W. Henderson, D. Wrigley and J.

- Wilson, "Case-based Reasoning System for Troubleshooting," *Proc. of IEE Colloquium on CBR : Prospects for Applications*, Digest No. 1994/057, London, UK, Mar 3 (1994), 5/1~5/9.
- [19] Sanders, K. E., "Within the Letter of the Law: Reasoning among Multiple Cases," *Proc. of DARPA CBR Workshop*, Washington D.C., USA, May 8-10 (1991), 317~338.
- [20] Sano, C., "Hybrid of (ID3 extention + Backpropagation) Hybrid and (Case-based Reasoner + Grossberg Net) Hybrid with Economics Modeling Controlled by Genetic Algorithm," *Proc. of SPIE - The Int'l Society for Optical Engineering*, Vol. 1707 (1992), 180~194.
- [21] Shelesh-Nezhad, K. and E. Siores, "Intelligent System for Plastic Injection Molding Process Design," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 63, No. 1-3 (1997), 458~462.
- [22] Shimazu, H., H. Kitano and A. Shibata, "Retrieving Cases from Relational Data-Bases," *Proc. of the Int'l Joint Conf. on AI, Chambery* (1993), 909~914.
- [23] Stahl, G., "Armchair Missions to Mars: Using Case-based Reasoning and Fuzzy Logic to Simulate a Time Series Model of Astronaut Crews," *Knowledge-Based Systems*, Vol. 9, No. 7 (1996), 409~415.
- [24] Vossos, G. and J. Zeleznikow, "Improving Automated Litigation Support by Supplementing Rule-based Reasoning with Case-based Reasoning," *Proc. of the DEXA '92 Int'l Conf. on Database and Expert Systems Applications*, Valencia, Spain, Sep 2-4 (1992), 138~142.
- [25] Watson, I., *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems*, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1997.
- [26] Watson, I. and S. Abdullah, "Developing Case-based Reasoning Systems: A Case Study in Diagnosing Building Defects," *Proc. of the IEE Colloquium on CBR : Prospects for Applications*, Digest No. 1994/057, London, UK, Mar 3 (1994), 1/1~1/3.