

응용논문

컴퓨터 고장 예측 및 진단 퍼지 전문가 시스템
-The Computer Fault Prediction and Diagnosis
Fuzzy Expert System-

최성운*
Choi, Sung Woon

Abstract

The fault diagnosis is a systematic and unified method to find based on the observing data resulting in noises. This paper presents the fault prediction and diagnosis using fuzzy expert system technique to manipulate the uncertainties efficiently in predictive perspective. We apply a fuzzy event tree analysis to the computer system, and build up the fault prediction and diagnosis using fuzzy expert system that predicts and diagnoses the error of the system in the advance of error.

1. 서론

최근 산업공정에서의 신뢰성과 안전성의 확보가 중요한 문제로 부각되고 있다. 이는 공정 자체의 복잡화와 자동화의 수준향상에 의해 전체적인 시스템이 대규모화됨에 따라 고장 요인과 발생빈도가 증가하고, 규모가 커지고 복잡해질수록 고장 발생시 시스템에 미치는 손실비용 등의 파급효과가 더욱 커지기 때문이다.

시스템이 복잡화·대형화 되어감에 따라 구성요소가 많아지고 구조가 복잡해지므로 숙련된 운전자의 경험과 지식을 지식베이스로 가지고 전체 시스템의 고장을 진단하는 전문가 시스템에 의한 고장 진단[4]이 바람직하다. 또한 복잡화·대형화로 인한 시스템의 종속성의 확충으로 고장을 예방하거나 가능한 초기 단계에 오류를 탐지 할 수 있는 방법을 사용하는 것이 중요하다[1, 2, 8].

대부분의 전문가 시스템[9]이 문제 발생 후 이를 해결하기 위한 시스템인데 반해, 본 연구에서는 운용자로 하여금 고장의 가능성을 예측하고, 가능 부위를 진단하고 이에 대처할 수 있는 전문가 시스템을 개발하고자 한다. 전문가의 지식들이 일반적으로 정량적 표현이 아닌 직관과 경험 등을 기초로 한 언어적 표현에 의존하므로 이진 논리에 기초를 둔 추론으로는 언어에 내포된 불확실성과 애매함을 제대로 결과에 반영 할 수 없다. 본 논문에서는 지식의 불확실성과 표현 용어 자체에 애매함이 포함될 수 있는 퍼지 집합[7, 10-12]을 이용해 지식을 표현하고 퍼지 집합으로 표현된 지식을 퍼지 논리로 처리할 수 있는 퍼지 전문가 시스템을 개발하고자 한다.

* 경원대학교 산업공학과 교수

2. 고장 예측

2.1 컴퓨터 고장 예측

위험요소들을 언어적 변량으로 표현하여 이를 정량적으로 분석하는 퍼지 사건수 분석(fuzzy event tree analysis)기법[6]이 실제 시스템의 고장 위험도 분석 평가에 어떻게 적용되는지 알아보기 위해, 경원대학교 산업공학과 전산실의 컴퓨터들을 적용대상으로 선정하여, 이를 사건수 분석 기법을 이용하여 모델링을 한 다음 퍼지 기법을 응용한 정량적 위험도 분석을 수행하였다.

이때 사건수 분석을 구성하고 있는 각 위험요소들에 대해서는 전문가의 주관적인 판단을 기초로 한다고 가정하였으며, 이러한 위험요소들에 대한 전문가의 언어적 판단을 퍼지 집합의 개념을 응용하여 컴퓨터 시스템의 고장 위험도를 정량적으로 평가할 수 있도록 하였다.

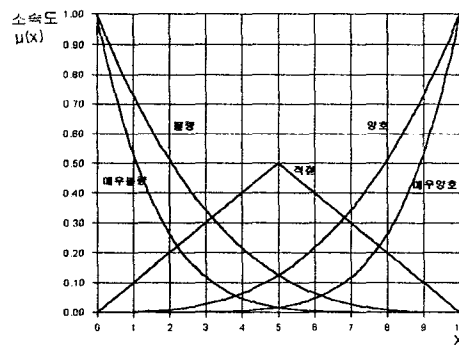
2.2 퍼지 사건수 분석

퍼지 사건수 분석 기법은 Fujino[5]에 의하여 정립된 퍼지 결함수 분석기법에 앞서 이미 1986년 Hadipriono[6]에 의하여 개발되어 제안된 방법으로서 사건수 분석 기법을 기본 틀로서 가지고 있으면서 퍼지의 개념을 도입하여 제안한 방법으로 사건수 분석기법과 퍼지 기법의 장점을 공히 가지고 있는 매우 유용한 방법이다. 이 방법은 분석된 구성요소의 입·출력 자료를 언어적 변량으로 사용한다. 여기서, 발생가능사건은 구성요소의 고장의 원인을 제공하는 사건들을 의미한다.

Hadipriono[6]는 각 위험요소에 대한 언어적 변량을 수정된 Baldwin의 램프(ramp)함수[6]를 이용하여 퍼지 소속도를 <표 1>, <그림 1>과 같이 제안하였다.

<표 1> 언어적 변량에 대한 퍼지 집합의 소속도

요소성능 (PF)	발생규정도 (M)	발생가능성 (PR)	소속도 $\mu(x)$
매우양호	매우크다	매우낮음	$\left(\frac{x}{10}\right)^6; 0 \leq x \leq 10$
양호	크다	낮음	$\left(\frac{x}{10}\right)^3; 0 \leq x \leq 10$
적절	중간	중간	$\begin{cases} \frac{x}{10} & ; 0 \leq x \leq 5 \\ \frac{10-x}{10} & ; 5 \leq x \leq 10 \end{cases}$
불량	작다	높음	$\left(\frac{10-x}{10}\right)^3; 0 \leq x \leq 10$
매우불량	매우작다	매우높음	$\left(\frac{10-x}{10}\right)^6; 0 \leq x \leq 10$



<그림 1> 수정된 Baldwin의 램프 함수

2.3 피지 사건수 분석 기법의 적용

컴퓨터 고장에 대해 전반적인 지식을 얻으려면 단편적인 지식으로는 불가능하다. 컴퓨터 고장은 증상, 원인, 해결방안이 1:1로 대응되지 않는다. 여러 가지 원인이 복합적으로 적용해 문제가 발생하므로 그 원인을 찾기 위해서는 여러 가지 항목을 세밀하게 조사해야 한다. 즉 고장 증상에 대한 원인이나 해결책은 다양하다.

<표 2> 사건수 분석에서 촉발가능사건에 대한 언어적 변량

촉발가능사건(Ti)		발생규모 정도(M)	발생가능성 (PR)
T1	전력공급 불량	크다	매우높음
T2	부품의 불량	중간	높음
T3	실내 습도 불량	작다	중간
T4	실내 온도 불량	작다	중간
T5	조립 불량	작다	중간
T6	사용자 취급 부주의	중간	높음

<표 3> 사건수 분석에서 발생가능사건에 대한 언어적 변량

발생가능사건(Ei)		요소성능 (PF)	발생가능성 (PR)
E1	메인보드 고장	불량	높음
E2	전원공급장치 고장	불량	매우높음
E3	하드디스크 고장	양호	낮음
E4	모니터 고장	적절	낮음
E5	그래픽카드 고장	양호	낮음
E6	사운드카드 고장	양호	낮음
E7	랜카드 고장	양호	낮음
E8	마우스 고장	불량	높음
E9	키보드 고장	양호	낮음
E10	플로피 디스크 고장	불량	중간

[단계 II]

[단계 I]에서 구한 퍼지 연산행렬의 각 열(column)에서 촉발가능사건 T1~T6, 그리고 발생가능사건 E1~E10에 대해 각각 최대 소속도를 취하면 <표 5>, <표 6>과 같은 퍼지 집합으로 나타난다. 그리고 각각의 촉발가능사건에 의해서 발생하는 고장경로에 대한 퍼지 집합은 촉발가능사건과 발생가능사건의 소속도 중에서 작은 값을 취함으로써 퍼지 집합을 구할 수 있다. <표 7>은 여러 촉발 가능사건 중 T1에 대한 각 경로의 퍼지 확률을 나타낸다.

<표 5> 촉발가능사건에 대한 퍼지 집합의 소속도

퍼지사건 X(=10 ⁻³)	퍼지 소속도 μ(x)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
촉발가능사건 T1	1	0.531441	0.262144	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0
T2	0.5	0.5	0.5	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
T3	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
T4	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
T5	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
T6	0.5	0.5	0.5	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0

<표 6> 발생가능사건에 대한 퍼지 집합의 소속도

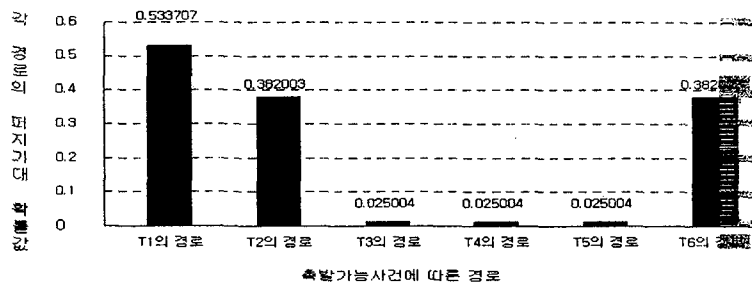
퍼지사건 X(=10 ⁻³)	퍼지 소속도 μ(x)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
발생가능사건 E1	1	0.729	0.512	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
E2	1	0.531441	0.262144	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0
E3	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.512	0.749	1
E4	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.5	0.5	0.5
E5	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.512	0.749	1
E6	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.512	0.749	1
E7	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.512	0.749	1
E8	1	0.729	0.512	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
E9	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.512	0.749	1
E10	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0

[단계 III]

[단계 II]에서의 각 경로들에 대한 퍼지 기대확률값은 식 (1)로부터 구할 수 있으며, 이를 나타낸 것이 <표 7>에서 마지막 열의 퍼지 확률이다.

$$PR(\text{경로 } i) = \frac{\sum_{i=0}^{10} \mu(x_i)}{\sum_{j=0}^{10} \mu(x_j)} (x_i) \quad (1)$$

예를 들어 <표 7>의 촉발가능사건 T1에 대한 경로 1(T1-E1-E2)의 발생가능성에 대한 퍼지 기대확률값은 식 (1)로부터 추정해보면 0.533707이다. 이와 같은 단계를 걸쳐 T1의 여러 경로중에서 가장 위험한 경로(critical path)를 찾아낼 수 있으며, 이러한 분석방법으로 각 촉발가능사건들(Ti)에 대한 퍼지 확률을 구할 수 있다.



<그림 3> 촉발가능사건(Ti)에 따른 각 위험경로의 최대 퍼지 기대확률값

<표 7> 촉발가능사건 T1에 대한 각 경로의 퍼지 확률

발생 경로	퍼지속속도 $\mu(x)$											퍼지 확률	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
촉발가능사건 T1	1	1	0.531441	0.262144	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.533707
	2	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	3	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	4	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	5	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	6	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	7	1	0.531441	0.262144	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.533707
	8	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	9	0	0.1	0.2	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.025004
	10	1	0.531441	0.262144	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.533707
	11	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	12	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	13	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	14	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	15	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	16	1	0.531441	0.262144	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.533707
	17	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	18	0	0.1	0.2	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.025004
	19	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	20	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	21	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	22	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	23	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	24	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	25	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	26	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	27	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	28	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	29	1	0.531441	0.262144	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.533707
	30	0	0.001	0.008	0.027	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.002053
	31	0	0.1	0.2	0.117649	0.046656	0.015625	0.004096	0.000729	0.000064	0.000001	0	0.025004

2.4 분석 및 결론

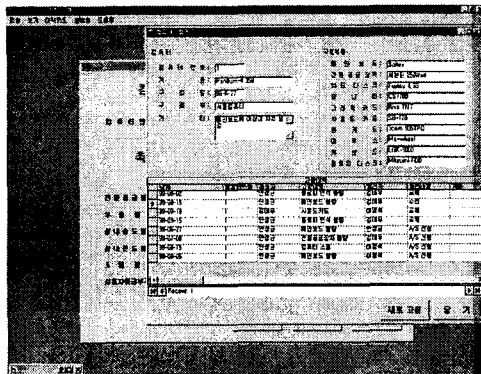
이와 같은 분석절차를 통해서 얻은 결과를 나타내는 <표 7>을 보면 가장 고장 가능성이 높은 경로는 촉발가능사건 T1에 따른 발생가능사건 E1, E2 및 E8의 발생의 조합을 나타내는 경로임을 알 수 있다. 이는 컴퓨터 시스템에 있어서의 위험요소들 중에서 전력공급이 불량하게 될 가능성이 매우 높고, 메인보드와 마우스가 요소성능이 불량, 발생가능성이 높음, 전원공급장치가 요소성능과 발생가능성이 각각 불량, 매우 높음이라는 언어적 변량을 취함으로써 나온 타당한 결과이다. 실제로 경원대학교의 산업공학과 전산실은 공급 전압의 불안으로 메인보드와 전원공급장치에 많은 문제가 발생하고 있다.

본 논문에서 적용한 컴퓨터 시스템에 대한 확률적 위험도분석평가를 위한 퍼지 사건수 분석기법은 전문가들의 언어적인 위험요소에 대한 평가를 정량적이며 확률적인 표현으로 전환하여 고장 가능성을 퍼지 확률값으로 나타낸다.

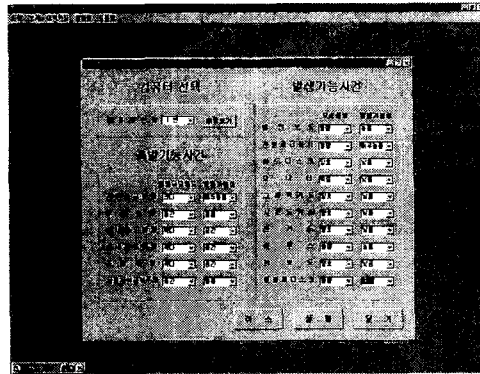
3. 컴퓨터 고장 예측 및 진단 퍼지 전문가 시스템(CFFES ; The Computer Fault Prediction and Diagnosis Fuzzy Expert System)

3.1 CFFES 개발 도구와 하드웨어 구성

3.1.1 개발환경



<그림 6> 컴퓨터 이력카드

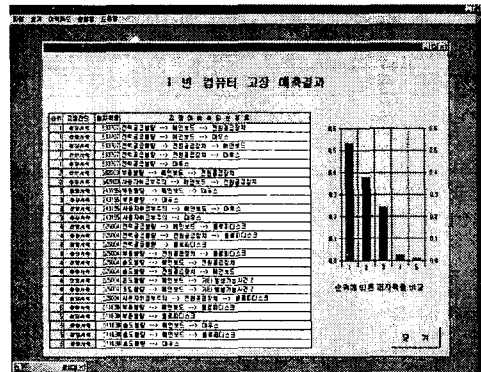


<그림 7> 초기 선택화면에서 각 사항을 선택한 화면

<그림 5>의 초기 선택화면에서 컴퓨터 번호를 선택하고 전문가로부터 얻는 각 촉발 가능사건의 발생규모정도와 발생가능성을 콤보 박스에서 선택하고, 같은 방법으로 발생가능사건의 각 부품에 대한 요소 성능과 발생 가능성을 콤보 박스를 통해 선택한다.

<그림 7>은 2장에서 예제로 들어 취한 언어적 변량을 그대로 선택한 것을 보여 주고 있는 화면이다.

이때 만일 '취소' 버튼을 누르게 되면 선택한 모든 값이 <그림 5>와 같이 다시 초기화된다. '실행' 버튼을 누르게 되면 선택한 각 촉발 가능사건과, 발생가능사건의 언어적 변량에 따라 <그림 8>과 같은 결과화면을 얻게된다.



<그림 8> 고장 예측 결과화면

<그림 9> 퍼지 연산결과 상세 보기

<그림 8>고장 예측 결과 화면을 보게 되면 1번 컴퓨터의 고장 예측 결과를 퍼지 확률값이 큰 순서대로 25개 얻은 것을 볼 수 있고, 그때의 경로를 나타내는 것을 볼 수 있다. 오른쪽에 나타난 그래프는 순위에 따른 퍼지 확률의 정도를 비교하기 위해 나타낸 것이다. 이 그래프는 왼쪽 그리드에 나타난 순위에 따라 1~8 까지 막대의 개수와 스케일이 자동으로 변하게 된다. 이때 전체 경로에 대한 퍼지 확률이 필요하면 메뉴화면의 '보기' → '결과상세보기'에서 '퍼지 연산 결과화면(번호순)' 또는 '퍼지 연산 결과화면(결과값순)'을 선택하면 된다.

<그림 9>는 왼쪽에 퍼지 연산 결과화면(번호순), 오른쪽에 퍼지 연산 결과화면(결과값순)을 각각 나타낸 결과 화면이다. 고장 예측 결과화면에서는 각 순위에 따른 퍼지 확률과 고장이 예측되는 경로를 미리 알려주어, 정비 담당자에게 시스템의 어느 부분을 먼저 점검해야 할지 정보를 제공하게 된다. 이때 각 퍼지 확률값 앞에 있는 '진단시작' 버튼을 누르게 되면 <그림 10>~<그림 12>와 같이 각 '고장이 예측되는 경로'를 진단하는데 도움을 줄 수 있는 전문가

시스템이 실행된다.

<그림 10>은 전원공급불량→메인보드→전원공급장치로 이루어진 경로에 대한 '진단시작' 버튼을 누른 후 고장 진단이 시작된 화면이다.

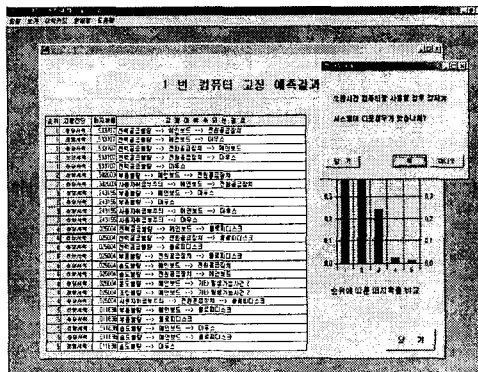
여기에 본 시스템에 사용된 전문가 시스템의 특징이 나타나는데 언어적 변량에 따른 지식 베이스를 구축하여 보다 신속한 진단이 이루어지도록 하였다. '고장이 예측되는 경로'가 초기 선택화면에 선택한 언어적 변량에 따른 결과로 얻어진 것이므로, 이미 전원공급불량의 발생규모 정도 : 크다, 발생가능성 : 매우높다, 메인보드의 요소성능 : 불량, 발생가능성 높음, 전원공급 장치의 요소성능 : 불량, 발생가능성 : 매우높음 이라는 정보가 주어지기 때문에 이를 진단에 반영할 수 있도록 한 것이다. 질문에 대한 답변을 통해 문제점을 발견하고, 그 해결방안을 제시하는 과정을 <그림10>~<그림 12>가 보여 주고 있다.

<그림 13>~<그림 15>는 '이력카드' 메뉴에서 실행시킬 수 있는 컴퓨터 추가/삭제, 고장이력 등록, 각 부품이력 등록을 할 수 있는 화면을 각각 나타낸다.

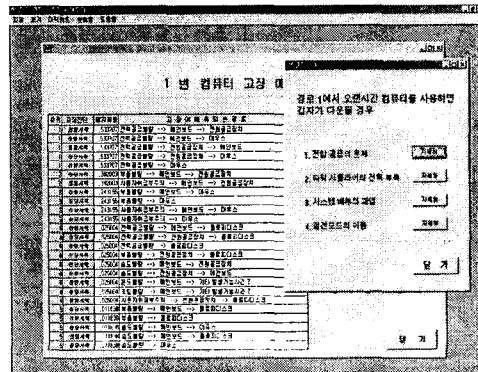
<그림 13>에서 운용자는 컴퓨터에 대한 정보를 추가하고 업데이트하고 삭제할 수 있다. 진산실의 컴퓨터의 경우 부품을 교체하는 경우가 많으므로 이 기능을 이용해 어느 컴퓨터에 어느 부품이 장착되었는지 쉽게 관리를 할 수 있게 된다.

<그림 14>는 고장 이력카드를 보여 주고 있는데, 이 카드에 고장 이력을 등록하여 보전 활동이나 진단활동에 정보를 제공하게 된다.

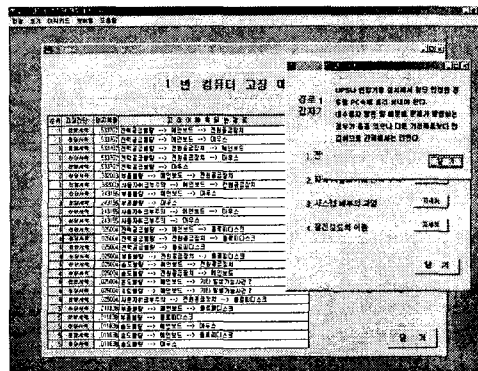
또한 각 구성 부품마다 <그림 15>와 같은 부품 이력카드가 있는데, 이 카드를 통하여 부품의 변동상황을 수정 기록할 수 있도록 하였다.



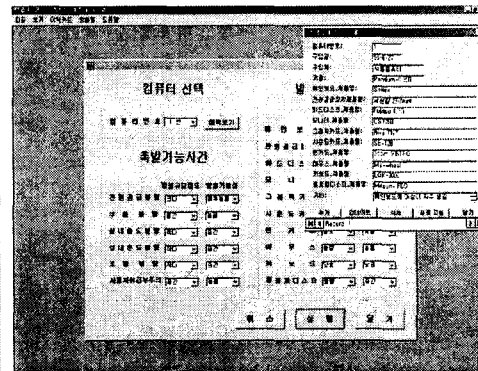
<그림 10> 고장 진단 화면 I



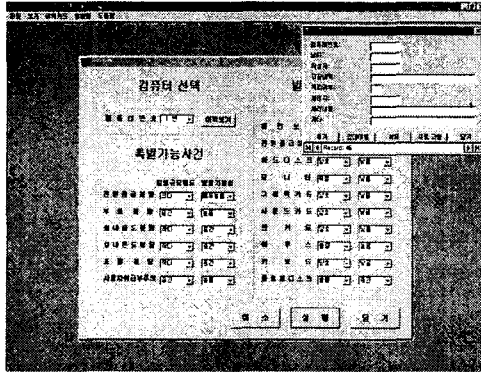
<그림 11> 고장 진단 화면 II



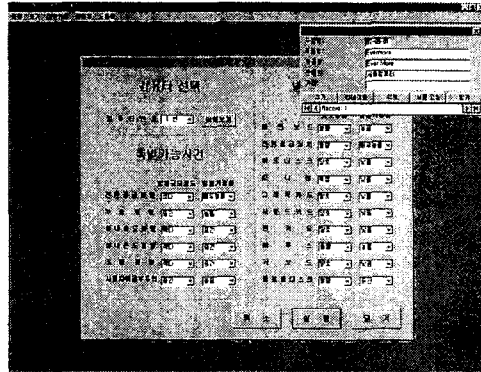
<그림 12> 고장 진단 화면 III



<그림 13> 컴퓨터 추가/삭제



<그림 14> 고장이력 등록



<그림 15> 메인보드 이력카드

4. 결론

본 논문에서는 예방보전의 관점에서 시스템에 내재된 다양한 불확실성을 효율적으로 처리하기 위해 전문가의 직관과 경험 등을 기초로 하여 언어적 변량을 취하고 이를 지식의 불확실성과 표현 용어 자체에 애매함이 포함될 수 있는 퍼지 기법을 이용하여 정량화 함으로써, 이진 논리에 기초를 둔 방법으로 처리 할 수 없었던 언어적 표현에 내포된 불확실성과 애매함을 고려한 판단이 가능하게 하였다.

또한 각 전문가의 언어적 변량을 수합하여 고장을 예측하고, 예측된 퍼지 확률 값을 바탕으로 초보자라도 쉽게 고장의 발생 가능성이 높은 것부터 시스템의 상태를 진단하고 대처 할 수 있는 시스템을 개발하였다.

대부분의 전문가 시스템이 문제가 발생한 후 이를 해결하기 위한 시스템인데 반해, 본 논문에서 구축한 시스템은 예방보전[3]의 관점에서 운용자로 하여금 고장의 가능성을 예측하고, 각 가능성의 인과관계에 따라 퍼지연산을 수행하고, 퍼지연산 결과값을 비교해 봄으로써 시스템에 고장이 발생하기 이전에, 고장의 발생여지가 있는 부위를 진단하여 그에 대처 할 수 있는 전문가 시스템이다.

본 논문에서는 비교적 간단한 컴퓨터 시스템에 퍼지 사건수 분석을 적용했지만, 언어학적 변량에 따른 지식 베이스를 구축하고, 다양한 고장 유발 요소들에 대한 자료의 데이터베이스화와 위험요소의 선정과 규명에 대한 보다 심도 있는 연구가 선행된다면, 복잡한 시스템에서도 합리적이고 체계적인 고장의 예측과 진단이 가능하고, 갑작스런 고장에 의한 기계설비의 파괴나 안전문제 등을 사전에 예방할 수 있을 뿐만 아니라, 고장을 예측하여 필요한 시점에 계획된 수리를 할 수 있는 매우 유용한 방법으로 사용될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 박경수; 신뢰도공학 및 정비이론, 회중당, pp. 20-21, 1993.
 [2] 한국표준협회; 설비간이진단기술, 한국표준협회, 1995
 [3] 한만철; "기계설비 고장진단 시스템의 기본연구", 기술논문, Vol. 1, No. 1, 1996.
 [4] Collacott, R. Q.; *Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring*, Chapman and

Hall, 1977.

- [5] Fujino, T.; *The Development of a Method for Investigation Construction Site Accident Using Fuzzy Fault Tree Analysis*, Ph. D. Thesis, 1994.
- [6] Hadipriono, F. C., Lim, C. L., and Wong, K. H.; "Event Tree Analysis to Prevent Failures in Temporary Structures," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 112, No. 4, pp. 500-513, 1986.
- [7] Klir, G. J., and Folger, T. A.; *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*, Prentice Hall, 1988.
- [8] Pouliezios, A. D., and Stavrakakis, G. S.; *Real Time Fault Monitoring of Industrial Processes*, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [9] Wolfgram, D. D., Dear, T. J., and Galbraith, C. S.; *Expert Systems for the Technical Professional*, John Wiley & Sons, 1987.
- [10] Zadeh, L. A.; "Fuzzy Sets," *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [11] Zadeh, L. A.; "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 1, pp. 3-28, 1978.
- [12] Zimmermann, H. J.; *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer-Nijhoff, 1986.

※ 본 연구는 1999년도 경원대학교 학술연구비의 지원을 받아 이루어졌음.