

☒ 연구논문

퍼지 전문가 시스템을 이용한 고장 예측 및 진단 -Fault Prediction and Diagnosis Using Fuzzy Expert System-

최 성 운

Choi, Sung Woon

이 영 석

Lee, Young Suk

Abstract

As the loss from break-downs and errors, which became more frequent with the growth of elaborateness, complexity and in scale of the plant and equipments, are enormous, the improvement in the reliability, maintenance, safety, and quality become to have interest. The fault diagnosis is a systematic and unified method to find errors, which is based on the interpretation that data, subconsciously, have noises. But, as most of the methods are inferences based on binomial logic, the uncertainty is not correctly reflected. In this study, we suggest, to manage the uncertainty in the system efficiently on the point of predictive maintenance, We should use fuzzy expert system, which make the decision considering uncertainty possible by taking linguistical variable and fixed quantity by using the fuzzy theory concepts on the basis of an expert's direct observation and experience.

1. 서 론

고장 진단의 목적은 고장 발생시 고장 부위 및 정도를 결정하여 이에 관한 정보를 운전자나 혹은 다른 시스템에 제공함으로써 고장에 대한 적절한 대응 조치를 취하도록 하는데 있으며 경우에 따라서는 고장의 유무를 판단하는 고장탐지를 포함하기도 한다[6]. 본 연구는 제어 시스템의 구성요소 될 수 있는 고장 진단 시스템의 개발을 목표로 한 퍼지 집합을 이용해 지식을 표현하고 퍼지 집합으로 표현된 지식을 퍼지 논리로 처리할 수 있는 퍼지 전문가 시스템을 개발하고자 한다.

*경원대학교 공과대학 산업공학과

*경원대학교 산업공학과

† 본 연구는 1999년도 경원대학교 학술연구비의 지원을 받아 이루어졌음

2. 고장진단

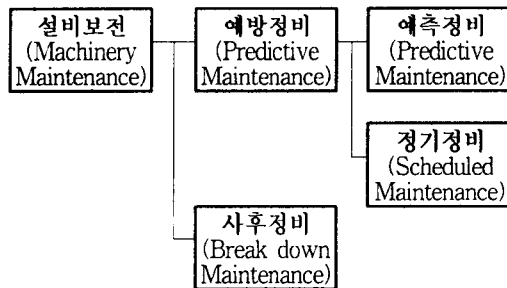
2.1 고장 진단

고장을 진단하는 것은 이미 발생한 고장으로부터의 신속한 복구를 위해서도 중요할 뿐 아니라, 시스템운전에서의 주의와 향후 새로운 설계에서의 고려 측면에서도 중요하다. 고장이 발생했을 경우, 고장의 원인을 판단하는 것은 고장의 원인과 그 원인에 의해 나타나는 고장의 증상 간의 연관성을 고려함으로써 가능하다. 즉 고장의 종류에 대한 판별이 필요하다.

그러나 기존 정비관행에 따라 고장난 후에 혹은 정기적으로 정비를 하는 것은 예상치 못한 설비의 고장을 막을 수 없으며 잦은 보수에 의한 인위적인 고장을 유발 할 수 있다.

2.2 설비 보전

생산현장에서 근무하는 설비, 생산기술자 및 작업자는 전체 설비가 고장 없이 완전 운전으로 원활한 생산이 지속되기를 바란다. 그러나 최근에 도입, 설치되는 설비나 장치류는 대형화, 연속 운전, 초저속, 초고속 등의 기능을 갖추고 생산에 투입되므로 이러한 기계들을 항상 최고의 운전 상태로 신뢰성을 유지·관리하는 보전활동은 그 어느 때보다 계획적이고 조직적으로 생산을 지원하여 주지 않으면 안되게 되었다[5].



<그림 1> 설비 보전 방법의 분류

사후정비란 설비가 고장이 난 후에야 비로소 수리를 하는 것이다. 사전 투자가 거의 필요 없는 것은 장점이라 할 수 있으나, 갑작스러운 고장은 설비의 심각한 파괴와 안전 문제를 야기시킬 수 있고 예정되지 않은 수리로 인한 시간적 재정적 손실을 피할 수 없다. 생산제품의 납기지연이나 불량품에 의한 경제적 손해도 커지게 된다. 이러한 사후정비의 단점을 보완한 것이 예방정비이다. 예방정비는 다시 정기정비와 예측정비로 나눌 수 있다. 정기정비란 고장이 예상되는 부품을 고장 여부에 관계없이 정기적으로 교환해 주는 것을 말하는데, 전혀 이상이 없는 부품을 교환해야 하는 경제적인 손실을 감수해야 할 뿐 아니라 정기적인 수리에도 불구하고 사후정비에서와 마찬가지로 갑작스런 기계고장의 위험성은 항상 존재하며, 정비작업 자체가 고장을 유발할 수 있다. 마지막으로 예측정비는 기계설비의 운전상태를 주기적으로 혹은 상시 진단하여 기계 내부에서 진행되고 있는 노화, 결함 등에 대하여 갑작스런 고장 없이 적절한 시점에 대비할

수 있게 하는 기술을 말한다. 예측정비는 요소 부위의 갑작스런 고장에 의한 기계설비의 파괴나 안전문제 등을 사전에 예방할 수 있을 뿐만 아니라 고장시기를 예측하여 필요한 시점에 계획된 수리를 할 수 있으므로 수리 기간 및 비용을 절감할 수 있다[3, 4].

3. 퍼지 전문가 시스템

3.1 전문가시스템에서 불확실성의 처리기법

실세계의 문제를 결정하는 데 있어서 현실적으로는 많은 사실들이 불확실성을 내포하고 있는 데(uncertain), 이런 경우 전문가 시스템은 불확실한 정보들로부터 여러 가지 문제를 해결 할 수 있어야 한다.

전문가시스템에서 불확실성을 다루기 위한 방법은 확신도 기법(certainty factor) 확률적 처리 방법(bayesian approach), 퍼지추론(fuzzy reasoning)으로 나누어 볼 수 있다. 그 외에도 Dempster-Shaper이론(D-S이론)과 위의 방법들을 약간 수정한 방법들이 나와있다.

3.2 퍼지전문가 시스템

1965년 Zadeh에 의해 제안된 퍼지집합론은 불확실하고 경계가 애매한 개념을 정량적으로 처리할 수 있는 기틀을 제공하였다. 일반적으로 전문가 시스템에서 퍼지 이론을 사용하는 다음과 같은 이유가 있다[2].

- 1) 전문가 시스템과 사용자와의 접촉은 인간이 하므로 “자연스러운” 방법으로 의사 소통이 이루어지는 것이 적합하다. 여기서 “자연스러운” 것이 의미하는 바는 전문가 또는 사용자의 언어로 한다는 뜻이다. 이것은 언어적인 변수(linguistic variable) 사용의 동기가 된다.
- 2) 전문가 시스템의 지식 베이스는 인간 지식의 저장소이다. 그러나 실제로 인간의 지식은 부정확하므로 전문가 시스템의 지식 베이스는 불확실하거나 모순되는 것들의 모임일 수 있다. 지식 베이스의 이와 같이 불확실한 부분은 명쾌한(crisp) 개념보다는 퍼지 집합을 이용하여 저장하는 것이 더 적합하다.
- 3) 위에서 언급한 것처럼 “불확실성의 처리”는 특별히 중요한 역할을 한다. 지식 베이스 내의 정보의 불확실성은 불확실한 결론을 야기한다. 따라서 이러한 시스템의 추론기관은 전체로부터 결과로 불확실성의 전송이 가능한 것이어야 한다.

확률론이 많은 분야에서 유용하고 성공적인 결과를 보여 주었지만 실제로 모든 경우의 불확실성을 다루기는 부족한 점이 있다. 그리고 확률론의 한계가 점점 인식되고 있다. 예를 들면, 한 요소의 확률은 그 요소의 반대되는 요소의 확률과 유일하게 연관되고, 모든 요소들의 확률의 합은 반드시 1이 되어야 한다. 그러나 퍼지 이론이나 가능성 이론(possibility theory)은 이러한 제약은 없다. 또한 확률론은 기본적으로 통계와 관련되어 있기 때문에 어떤 면에서는 부적절한 경우도 있다.

따라서 시스템의 고장진단시 불확실성을 처리하는데는 확률론보다는 퍼지 이론이 더 적합하다고 할 수 있다.

3.3 퍼지 사건수 분석

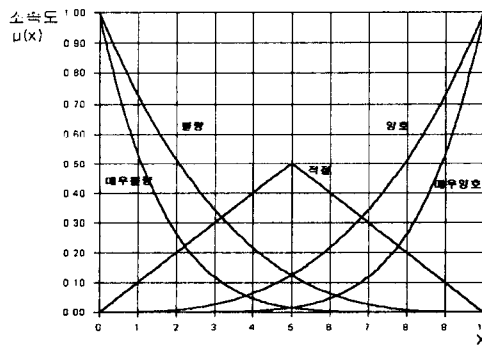
퍼지사건수분석 기법은 Fujino에 의하여 정립된 퍼지결함수분석기법에 앞서 이미 1986년 Hadipriono에 의하여 개발되어 제안된 방법으로서 사건수분석 기법을 기본 틀로서 가지고 있으면서 퍼지의 개념을 도입하여 제안한 방법으로 사건수분석기법과 퍼지기법의 장점을 공히 가지고 있는 매우 유용한 방법이다. 일반적으로 사건수분석 기법에서는 촉발가능사건에 뒤따라 일어나는 발생가능사건이 함께 발생할 경우에 설비의 구성요소는 제 기능을 발휘할 수 없다고 볼 수 있다. 여기서, 발생가능사건은 구성요소의 고장의 원인을 제공하는 사건들을 의미한다[1].

Hadipriono는 각 위험요소에 대한 언어학적 변량을 수정된 Baldwin의 Ramp 함수를 이용하여 퍼지 소속도를 <표 1>과 <그림 2>와 같이 제안하였다.

<표 1> 언어학적 변량에 대한 퍼지 집합의

소속도

요소성능 (PF)	발생규모정도(M)	발생가능성(PR)	소속도 $\mu(x)$
매우양호	매우크다	매우낮음	$(\frac{x}{10})^6; 0 \leq x \leq 10$
양호	크다	낮음	$(\frac{x}{10})^3; 0 \leq x \leq 10$
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	$(\frac{10-x}{10})^3; 0 \leq x \leq 10$
매우불량	매우작다	매우높음	$(\frac{10-x}{10})^6; 0 \leq x \leq 10$



<그림 2> 수정된 Baldwin의 Ramp 함수

사건수 분석에 퍼지집합의 이론을 이용한 퍼지사건수분석기법에서 각 경로의 고장 발생확률은 다음과 같은 단계를 통해서 구할 수 있다.

[단계 I]

각 촉발가능사건(Ti)의 발생규모정도(M)와 이에 해당하는 발생가능성(PR)사이의 관계를 나타내는 퍼지연산과, 각 발생가능사건(Ei)의 요소성능(PF)과 이에 해당하는 발생가능성(PR)사이의 관계를 나타내는 퍼지연산은 아래 식과 같이 수행한다.

$$\begin{aligned} R(T_i) &\in \phi(M \times PR), \\ R(E_i) &\in \phi(PF \times PR) \end{aligned} \tag{1}$$

이때, 식1 에서의 퍼지연산은 다음과 같은 방법으로 구해진다.

$A \in \phi(x)$ 이고 $B \in \phi(y)$ 인 퍼지집합 A, B가 있을 때, $R=A \times B$ 인 관계의 퍼지집합의 소속도함수는 식2와 같으며, 이를 행렬식으로 나타내면 식3과 같다.

$$\begin{aligned} f_R(x_i, y_j) &= f_{A \times B}(x_i, y_j) \\ &= \Lambda[f_A(x_i), f_B(y_j)] \\ &\forall x_i \in X, \forall y_j \in Y ; \\ &\text{for } i=1 \sim m, j=1 \sim n \end{aligned} \tag{2}$$

$$f_R(x_i, y_j) = R_{A \times B} \in \phi(X \times Y) \tag{3}$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ r_{i1} & \cdot & \dots & r_{ij} & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ r_{m1} & \cdot & \dots & \cdot & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

여기서, r_{ij} 는 $R_{A \times B} \in \phi(X \times Y)$ 에 포함된 각 요소의 소속도를 나타내며, 문제는 퍼지곱 (∧)의 형태이므로 퍼지집합이론에 있어서 잘 알려진 바와 같이 $f_A(x_i)$ 와 $f_B(y_j)$ 의 소속도의 최소값으로 구해진다.

[단계 II]

앞의 [단계 I]에서 얻은 퍼지행렬의 각 열(Column)로부터 최대소속도를 취하여 촉발가능사건과 발생가능사건의 퍼지집합을 구성한다. 그리고 이를 이용하여 각 경로별 퍼지집합을 조합한다.

[단계 III]

앞의 《단계 II》에서 얻은 각 경로들의 퍼지기대확률값은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$PR(\text{경로 } i) = \sum_{i=0}^{10} \frac{\mu(x_i)}{\sum_{j=0}^{10} \mu(x_j)}(x_j) \tag{4}$$

이와 같이 퍼지사건수분석에 의한 확률적 위험도분석은 해석과정에서의 모호함과 주관적인 평가를 정량적으로 변환하는데 유용하다.

4. 적용례 및 고찰

4.1 컴퓨터 고장 예측

위험요소들을 언어학적 변량으로 표현하여 이를 정량적으로 분석하는 퍼지사건수분석(FETA) 기법이 실제 시스템의 고장 위험도 분석 평가에 어떻게 적용되는지 알아보기 위해, 경원대학교 산업공학과 전산실의 컴퓨터들을 적용대상으로 선정하여, 이를 사건수분석 기법을 이용하여 모델링을 한 다음 퍼지기법을 응용한 정량적 위험도 분석을 수행하였다.

이때 사건수분석을 구성하고 있는 각 위험요소들에 대해서는 전문가의 주관적인 판단을 기초로 한다고 가정하였으며, 이러한 위험요소들에 대한 전문가의 언어학적 판단을 퍼지집합의 개념을 응용하여 컴퓨터 시스템의 고장 위험도를 정량적으로 평가할 수 있도록 하였다.

4.2 퍼지사건수분석 기법의 적용

본 논문의 위험도분석을 위한 퍼지사건수분석에 있어서의 촉발가능사건으로는 <표 2>에 나타난 것과 같이 전력공급 불량, 부품의 불량, 실내 습도 부적합, 실내 온도 부적합, 조립 불량, 사용자 취급 부주의 등으로 선정하였다. 그리고 이러한 촉발가능사건으로부터 유발되는 발생가능사건으로는 <표 3>와 같이 메인보드, 전원공급장치, 하드디스크, 모니터, 그래픽카드, 사운드카드, 플로피 디스크 등의 고장으로 단순화하여 선정하였다.

<표 2> 사건수분석에서 촉발가능사건에 대한 언어학적 변량

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

<표 3> 사건수분석에서 발생가능사건에 대한 언어학적 변량

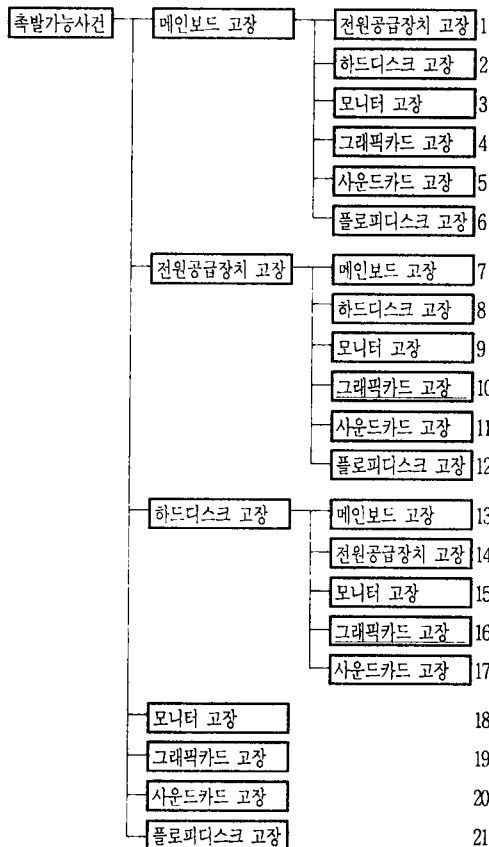
발생가능사건(Ei)		요소성능 (PF)	발생가능 성(PR)
E1	메인보드 고장	불량	높음
E2	전원공급장치 고장	불량	매우높음
E3	하드디스크 고장	적절	중간
E4	모니터 고장	적절	중간
E5	그래픽카드 고장	양호	낮음
E6	사운드카드 고장	양호	낮음
E7	플로피 디스크 고장	적절	중간

그리고, 각 촉발가능사건들의 발생규모정도와 발생가능성 그리고 각 발생가능사건들의 요소성능과 발생가능성에 대해서 <표 1>과 <그림 2>와 같은 수정된 Baldwin의 Ramp함수모형에 따라 5가지의 등급으로 분류하여 경험 많은 전문가들의 의견을 토대로 언어학적 변량으로 표현되었다고 가정하였으며 <그림 3>과 같이 사건수(Event Tree)를 구성하였다. <그림 3>은 촉발가능사건 T_i ($i=1\sim6$)에 따른 발생가능사건의 사건수를 구성한 것으로써 하나의 촉발가능사건으로부터 발생하는 사건수는 21가지의 경로를 갖는다고 가정하였으며, 총 126가지의 경로를 선정하여 모델링 하였다.

퍼지사건수 분석의 [단계 I]~[단계 III]에 따라 각 고장경로의 발생확률은 구한다.

[단계 I]

본 적용 예의 문제 중 촉발가능사건 T2를 예로 들면, 발생규모정도에 대한 언어학적 변량을 “중간” 그리고 발생가능성에 대한 언어학적 변량을 “높음”이라 가정하였을 경우, 이에 대한 퍼지집합은 식1 ~ 식3에 의해 퍼지연산을 수행하여 <표 4>와 같은 행렬을 구할 수 있다.



<그림 3> 촉발가능사건에 따른 발생가능사건의 사건수 구성

<표 4> 촉발가능사건 T2의 퍼지연산 행렬

	발생가능성(PR)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
발	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.064	0.027	0.008	0.001	0
생	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
규	0.300	0.300	0.300	0.300	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
도	0.400	0.400	0.400	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
정	0.500	0.500	0.500	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
도	0.400	0.400	0.400	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
(MC)	0.300	0.300	0.300	0.300	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.064	0.027	0.008	0.001	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<표 5> 촉발가능사건에 대한 퍼지집합의 소속도

퍼지사건	X(=10 ^{-x})	퍼지소속도 $\mu(x)$										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
촉발	T1	0.5	0.5	0.2621	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0
가능	T2	0.5	0.5	0.5	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
사건	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

[단계II][단계 I]에서 구한 퍼지연산행렬의 각 열(Column)에서 촉발가능사건 T1~T6, 그리고 발생가능사건 E1~E7에 대해 각각 최소속도를 취하면 <표 5>, <표 6>과 같은 퍼지집합으로 나타난다. 그리고 각각의 촉발가능사건에 의해서 발생되는 고장경로에 대한 퍼지집합은 촉발가능사건과 발생가능사건의 소속도 중에서 작은 값을 취함으로써 <표 7>~<표 9>과 같은 퍼지집합을 구할 수 있다.

[단계III] [단계II]에서의 각 경로들에 대한 퍼지기대확률값은 식4로부터 구할 수 있으며, 이를 나타낸 것이 <표 7>~<표 9>에서 마지막 열의 퍼지확률이다.

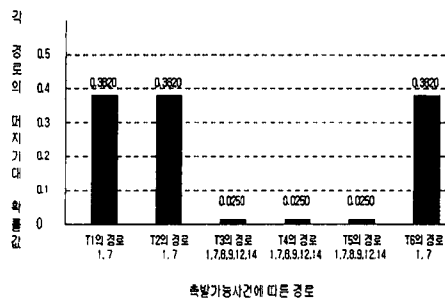
예를 들어 <표 7>의 촉발가능사건 T1에 대한 경로 1(T1-E1-E2)의 경로에 대한 발생가능성에 대한 퍼지기대확률값은 식4로부터 추정해보면 0.3820이다. 이와 같은 단계를 걸쳐 T1의 여러 경로중에서 가장 위험한 경로(Critical Path)를 찾아낼 수 있으며, 이러한 분석방법으로 각 촉발가능사건들(Ti)에 대한 퍼지확률을 구할 수 있다.

<표 6> 발생가능사건에 대한 퍼지집합의 소속도

퍼지사건	퍼지소속도 $\mu(x)$											
	X(=10 ⁻³)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
발생 가능 사건	E1	1	0.729	0.512	0.343	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0
	E2	1	0.5314	0.2621	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0
	E3	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
	E4	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
	E5	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.5	0.5	0.5
	E6	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.343	0.5	0.5	0.5
	E7	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0

<표 7> 촉발가능사건 T1에 대한 각 경로의 퍼지확률

발생 경로	퍼지소속도 $\mu(x)$											퍼지 확률	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
촉발 가능 사건 T1	1	0.5	0.5	0.2621	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.3820
	2	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	3	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	4	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	5	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	6	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	7	0.5	0.5	0.2621	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.3820
	8	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	9	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	10	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	11	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	12	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	13	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	14	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	15	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	16	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	17	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	18	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	19	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	20	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	21	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250



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

이와 같이 퍼지사건수분석에 의한 확률적 위험도분석은 해석과정상에 내재되어 있는 모호함과 주관적인 평가를 정량적으로 변환하는데 유용하다. 이 연구에서 퍼지기법은 언어적으로 표현되는 위험요소에 대해 정량적이며 확률적인 표현으로 전환하는데 이용된다.

<표 8> 촉발가능사건 T2, T6에 대한 각 경로의 퍼지확률

발생 경로	퍼지소속도 $\mu(x)$											퍼지 확률	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
촉발가능사건 T2 · T6	1	0.5	0.5	0.2621	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.3820
	2	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	3	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	4	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007
	5	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007
	6	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	7	0.5	0.5	0.2621	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.3820
	8	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	9	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	10	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	11	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	12	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	13	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	14	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	15	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	16	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007
	17	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007
	18	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	19	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007
	20	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007
	21	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007

<표 9> 촉발가능사건 T3, T4, T5에 대한 각 경로의 퍼지확률

발생 경로	퍼지소속도 $\mu(x)$											퍼지 확률	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
촉발가능사건 T3 · T4 · T5	1	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	2	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	3	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	4	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007
	5	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0007
	6	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	7	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	8	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	9	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	10	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	11	0	0.001	0.008	0.027	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0021
	12	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	13	0	0.1	0.2	0.3	0.216	0.125	0.064	0.027	0.008	0.001	0	0.0118
	14	0	0.1	0.2	0.1176	0.0467	0.0156	0.0041	0.0007	0.0001	0	0	0.0250
	15	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.0049
	16	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.3	0.2	0.1	0	0.0002
	17	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.3	0.2	0.1	0	0.0002
	18	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.0049
	19	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.3	0.2	0.1	0	0.0002
	20	0	0.001	0.008	0.027	0.064	0.125	0.216	0.3	0.2	0.1	0	0.0002
	21	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.0049

5. 분석 및 결론

이와 같은 분석절차를 통해서 얻은 결과를 나타내는 <표 7>~<표 9>을 보면 가장 고장 가능성이 높은 경로는 촉발가능사건 T1, T2, T6에 따른 발생가능사건 E1, E2의 발생의 조합을 나타내는 경로임을 알 수 있다. 이는 컴퓨터 시스템에 있어서의 위험요소들 중에서 전력공급이 불량하게 될 가능성이 매우 높고, 메인보드와 전원공급장치의 요소성능이 불량하다는 언어학적 변량을 취함으로써 나온 타당한 결과이며, 실제로 경원대학교의 산업공학과 전산실은 공급 전압의 불안으로 메인보드와 전원공급장치에 많은 문제가 발생하고 있다.

본 논문에서 적용한 컴퓨터 시스템에 대한 확률적 위험도분석평가를 위한 퍼지사건수분석기법은 전문가들의 언어적인 위험요소에 대한 평가를 정량적이며 확률적인 표현으로 전환하여 고장 가능성을 퍼지 확률값으로 나타낸다. 위험요소들에 대한 자료의 데이터베이스화와 위험요소의 선정과 규명에 대한 보다 심도 있는 연구가 선행된다면, 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] 강신준, 이성환, 신현익, 우철휘, 우광방, "클러스터링과 Fuzzy Fault Tree를 이용한 유도전동기 고장 검출과 진단에 관한 연구" 제어자동화 시스템공학 논문지, Vol. 4, No. 1, 1998
 - [2] 김태윤, "퍼지 이론과 응용", 정익사, 1992
 - [3] 이인수, 이지수 "시스템의 고장진단 방책에 관한 연구", 한국보전공학회, Vol. 3, No. 1, 1998
 - [4] 한만철, "기계설비 고장진단 시스템의 기본연구", Journal of Industrial Technology, Vol. 1, No. 1, 1996
 - [5] "설비간이진단기술", 한국표준협회, 1995
 - [6] A.D. Pouliezios and G.S. Stavrakakis, "Real Time Fault Monitoring of Industrial Processes, Kluwer academic Publishers, 1994
- ♣ 최성운 : 현재 경원대학교 산업공학과 부교수로 재직중이다. 한양 대학교 산업공학과에서 공학사(1981), 공학석사(1983), 공학박사(1990) 학위를 취득하고, 1994년 한국과학재단 지원으로 1년간 Dept. of Applied Statistics, University of Minnesota에서 품질관리에 관련된 연구를 하였다. 주요 관심분야는 자동화 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 컴퓨터·정보통신시스템의 신뢰성 설계 및 분석에도 관심을 가지고 있다.
- ♣ 이영석 : 경원대학교 산업공학과에서 공학사(1998) 학위를 취득하고, 현재 석사과정 재학중이다. 주요 관심분야는 신뢰성공학, 품질경영 등이다.