

FTA(Fault Tree Analysis)에서 불확실한 위험분석을 위한 퍼지모형 연구

- A Study Fuzzy model for Risk Analysis of Uncertainly
FTA(Fault Tree Analysis) -

임충규*

Lim Chong gyu

박주식*

park Joo sic

강경식**

kang Gyung sic

Abstract

Risk analysis is a formal deductive procedure for determining combinations of component failures and human errors that could result in the occurrence of specified undesired events at the system level. This method can be used to analyze the vast majority of industrial system reliability problems.

This study deals with the application of knowledge-engineering and a methodology for the assessment & measurement of reliability, availability, maintainability, and safety of industrial systems using FTA(fault tree analysis).

A fuzzy methodology for fault-tree evaluation seems to be an alternative solution to overcome the drawbacks of the conventional approach (insufficient information concerning the relative frequencies of hazard events). To improve the quality of results, the membership functions must be approximated based on heuristic considerations.

The purpose of this study is to describe the knowledge engineering approach, directed to integrate the various sources of knowledge involved in a FTA.

1. 서론

고장분석에서 고장확률처럼 정상사상과 각 사상들의 위험도가 모든 위험내용들을 내포할 수 없는 것에서, 위험 자체의 의미는 애매모호한 개념이 되는 것이다[1].

* 명지대학교 산업공학과 박사과정

** 명지대학교 산업공학과 교수

설비고장 또는 인간에러에서 불확실성 정도는 전통적 방법을 사용하여 시스템의 신뢰성이 구성요소들간에 어느 정도 영향을 미치는가를 명확히 표현하기란 어렵다. 그러나, 정성적으로 이러한 종류의 불확실성을 표현하기에는 상대적으로 가능한 일이다. 불확실하거나 모호하거나 애매한 정보를 표현하고 판단하기 위한 정량적인 방법으로서는 위험분석을 위한 퍼지모형을 제안한다.

퍼지집합의 핵심적 개념은 소속함수에 있는데, 어떤 요소가 집합에 속해 있는 정도를 수치적으로 표현한 것이데, 소속정도를 어떻게 정할 것인가가 과제이다. Zadeh[14]는 인간의 행위를 분석하는 방법은 정량적인 분석방법 보다는 정성적인 분석방법이 더 효과적이라고 하였다. 문제를 해결할 수 있는 정보를 언어변수 및 퍼지논리를 사용하여 정성적인 분석을 실시함으로써, 인간의 능력을 표현할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 위험분석을 위한 퍼지모형을 시스템의 진단시 발생할 수 있는 불확실한 정보를 다루는데 퍼지언어변수를 사용하였다.

2. 퍼지언어변수와 위험인자

기존의 시스템 안전진단분야에서는 위험요인을 관리하고 위험수준을 분석하기 위하여 각 사건의 집합에 확률적 척도를 부과함으로써 계량화를 이루었다. 그러나 사건이 발생할 확률은 명확하지 않으며, 위험분석가들은 흔히 명확한 수치 대신에 “다소 가능성이 있다(more or less likely)” 또는 “가능성이 희박하다(remotely possible)” 등의 모호하고 부정확한 표현을 사용한다. 따라서 이러한 판단에 내포되어 있는 불확실성은 확률적(randomness) 보다는 모호성(fuzziness)으로 취급하여야 한다[2].

Fine[4], Graham과 Kinney[5]에 의해 세가지 위험인자(risk factor) 즉, 발생 가능성(likelihood of occurrence), 위험에 대한 노출 평가치(exposure) 및 결과의 심각성(consequences)으로 분류하였으며, 이에 해당하는 내용을 <표 1>, <표 2> 및 <표 3>에서 그 수치를 찾아내어 각각 곱한 값으로 <표 4>의 위험 수준치를 도출하였으며, 실질적인 활용을 위해 이런 과정을 계산도표(nomograph)로 제시하였다.

<표 1> 위험사상의 발생 가능성에 관한 평가치

평가치	서 술 자
10	위험요소로 발생하면, 가장 일어날 기대치가 큰 결과(Might well be expected)
6	발생 가능성이 매우 높으며 50/50의 가능성도 있음(Quite possible)
3	발생 가능성이 높음(50/50까지는 안됨)(Unusual but possible)
1	발생 가능성이 높지 않지만, 우연히 발생할 가능성 있음(Only remotely possible)
0.5	과거에 발생한 것으로 알고 있으며, 우연히 연계하여 일어날 가능성이 있음 (Conceivable but highly unlikely)
0.2	노출사고 발생후 몇 년 동안 일어나지 않으므로, 드물지만 가능성 있음(Practically impossible)
0.1	실제적으로는 일어나기 힘들다, 백만분의 1의 확률은 있음(Virtually impossible)

<표 2> 위험에 대한 노출 평가치

평가치	서술자
10	계속적인 노출(하루에 여러 차례, Continuous)
6	빈번한 노출(하루에 한 번 정도, Daily during working hours)
3	가끔씩의 노출(일주일에 한 번 정도, Weekly or occasionally)
2	약간의 노출(한달에 한 번 정도, Monthly)
1	드문 노출(발생한다고만 알고 있음, A few times per year)
0.5	매우 드문 노출(발생하는 것은 모르지만 가능성은 있음, Very rare)

<표 3> 결과의 심각성 정도

평가치	서술자	재해비용
100	큰 재앙, 다수 사망(Catastrophe, many fatalities)	$> \$ 10^7$
40	매우 큰 손해, 다수 사망(Disaster, multiple fatalities)	$\$ 10^6 - 10^7$
15	큰 손해, 소수 사망(Very serious, a fatality)	$\$ 10^5 - 10^6$
7	어느 정도의 손해, 대단히 심각한 부상(Serious, serious injury)	$\$ 10^4 - 10^5$
3	약간의 손해, 불구상태(Important, disability)	$\$ 10^3 - 10^4$
1	사소한 손해, 타박상(Noticeable, first aid may be needed)	$\$ 10^2 - 10^3$

<표 4> 위험 수준치

수치값	서술자
>320	매우 높은 위험: 작업 중지 고려(Very high risk: consider discontinuing operation)
160	고도의 위험: 즉각적인 조치 요구(High risk: immediate correction required)
70-160	외적인 위험: 조치 요구(Substantial risk: correction required)
20-70	위험 가능: 주의 요구(Possible risk: attention needed)
<20	사소한 위험: 감수 가능(Some slight risk: perhaps acceptable)

이와 같은 모형은 비록 간단하면서도 실질적인 위험평가 방법을 제안하고 있지만, 어떤 경우에는 상당한 모순점을 보이고 있다. 예를 들면, 발생 가능성 : 0.5, 노출 평가치 : 1, 그리고 결과의 심각성 : 100인 경우와 가능성 : 1, 발생빈도 : 3, 그리고 결과의 심각성 : 7인 경우에 위험치가 각각 50과 21로서 “위험 가능(possible risk)”이라는 동일한 언어 표현을 사용한다. 이것은 모호성이 내포된 위험인자에 대한 주관적인 판단을 정확한 하나의 수치로 표현하기 때문이며, 이러한 단점을 개선하기 위하여 위험인자들에 대한 언어 표현을 퍼지변수로 대응시켜 위험수준을 추론하는 방법을 제시한다.

언어표현은 모호한 경우가 많으며, 이것을 수치로 표현하는 것은 매우 어렵다. 그러나 인간의 판단에 관한 퍼지집합 모형을 이용하면 상기의 언어표현을 수치, 즉 퍼지변수의 소속함수(membership function)로 변환시킬 수 있으며[3,8,9,15], 사건의

발생에 관한 표현의 부정확성과 연결이 가능하고, <표 5>는 Graham과 Kinney의 위험분석에 관한 언어표현과 퍼지언어변수를 대응시킨 예이다.

<표 5> 위험분석과 퍼지언어변수의 표현

언어 서술자 표현	퍼지 언어 변수
1. 가능성(Likelihood) <ul style="list-style-type: none"> • 위험요소로 인한 사건이 발생한다면, 가장 일어날 기대치가 큰 결과(might well be expected) • 발생 가능성이 매우 높으며, 50/50의 가능성도 있음(quite possible) • 발생 가능성이 높음(50/50까지는 안됨)(unusual but possible) • 발생 가능성이 높지 않지만, 우연히 발생할 가능성이 있음(only remotely possible) • 과거에 발생한 것으로 알고 있으며, 우연히 연계하여 일어날 가능성이 있음(conceivable, but highly unlikely) • 노출사고 발생 후 몇 년 동안 일어나지 않았으므로 드물지만, 가능성이 있음(practically impossible) 	매우 가능성이 높다[very likely] 가능성이 높다[likely] 다소 가능성이 있다[more-or-less likely] 가능성이 적다[unlikely] 가능성이 거의 없다[very unlikely] 가능성이 대단히 적다[very very unlikely]
2. 발생빈도(Exposure) <ul style="list-style-type: none"> • 지속적인 발생(continuous; many times daily) • 빈번한 발생(frequently; once a day) • 가끔씩의 발생(occasionally; one per week or month) • 약간의 발생(monthly; one per month/year) • 드문 발생(rarely) • 매우 드문 발생(very rare) 	매우 높다[very high] 높음[high] 보통[moderate] 다소 가능성이 낮음[more-or-less low] 낮다[low] 매우 낮다[very low]
3. 결과의 심각성(Consequences) <ul style="list-style-type: none"> • 큰 재앙, 다수 사망 (catastrophe; extensive damage, over \$ 10⁷, many fatalities) • 매우 큰 손해, 다수 사망(disaster; \$ 10⁶ - 10⁷, fatalities) • 큰 손해, 소수 사망(very serious; \$ 10⁵ - 10⁶, a fatality) • 어느 정도의 손해, 대단히 심각한 부상 (serious; \$ 10⁴ - 10⁵, serious injury) • 약간의 손해, 불구상태(important; \$ 10³ - 10⁴, disability) • 사소한 손해, 타박상(noticeable; \$ 10² - 10³, first aid) 	극히 높다[extremely high] 매우 높다[very high] 높다[high] 중간[medium] 다소 가능성이 있음[more-or-less medium] 낮다[low]

3. 언어적 근사추론

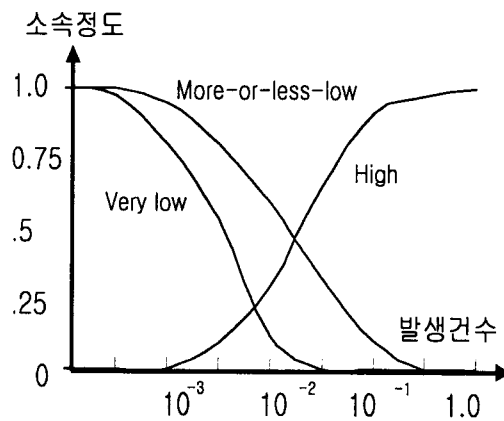
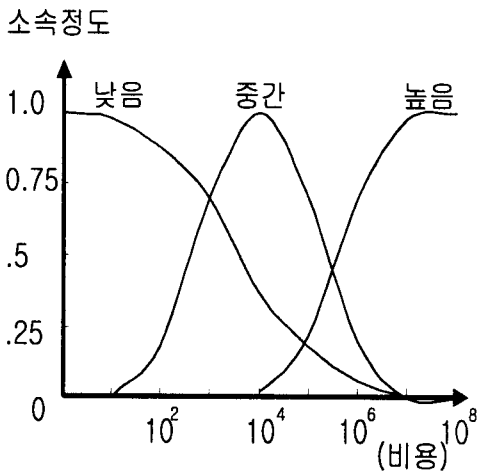
3.1 위험분석의 모호성

위험수준(risk score)을 구성하는 인자에 대한 수치를 지정하는 것은 인간의 주관적인 판단에 의해 이루어진다. 예를 들면, 위험분석에 적합하도록 확률 개념이 정립되어어도, 타당한 위험수준 측정치를 제시하는데 필요한 정확한 확률 추정을 할 수가 없으며, “상당히 가능성이 높다(quite possible)”, “매우 가능성이 높다(very likely)” 등의

언어표현을 이용함으로써 “가능성(likelihood)”의 계량화가 부정확할 수밖에 없어, 이러한 표현은 언어변수로 취급하여야 한다. <표 6>에서는 본 연구를 위한 기본적 언어와 그 소속함수를 제시하였으며, <그림 1>, <그림 2>는 <표 5> 및 <표 6>을 이용하여 결과의 정도 및 발생빈도에 대한 몇 개의 언어변수 값(linguistic value)을 나타낸 것으로서, <표 5> 및 <표 6>에 없는 언어변수 값은 주술어에 대한 축소 및 확장연산으로써 그 값을 구할 수 있다.

<표 6> 개별적 서술어들의 소속함수[6]

개별적 서술어(Individual term)	소속함수(Membership functions)						
높다(high)	0	0	0.1	0.3	0.7	0.9	1
중간(mediaum)	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0
낮다(low)	1	0.9	0.7	0.3	0.1	0	0
불가항력적(unknown)	1	1	1	1	1	1	1
정의를 못내림(undefiend)	0	0	0	0	0	0	0
다소 가능성이 높음(more or less high)	0	0	0.3	0.55	0.85	0.95	1
매우 높다(very high)	0	0	0	0.1	0.5	0.8	1
가능성이 있는(likely)	0	0.1	0.5	0.7	0.9	1	1
가능성이 없는(unlikely)	1	1	0.9	0.8	0.5	0	0
가능성이 없을 것 같음(not likely)	1	1	0.5	0.3	0.1	0.1	0



<그림 1> 결과의 심각성 정도에 대한 언어값 <그림 2> 발생 빈도의 언어값

언어변수에 관한 주술어의 대부분은 경험적인 데이터와 안전 전문가의 경험에 의해 도출될 수 있으며, 이러한 주술어의 퍼지언어변수 값은 어떤 사건의 발생 가능성, 발생빈도, 결과의 심각성 등을 표현하는 언어변수 값을 결정하는 기본사항이 된다.

3.2 위험분석을 위한 퍼지모형

본 연구에서는 세 가지 위험 인자에 대한 표현을 하나의 특정한 인자로 변환시키는 것이 아니라 퍼지언어변수(fuzzy linguistic variable)를 이용하며, 각 인자의 근사추론법(approximate reasoning)에 의해 합성함으로써, 종래의 위험분석 방법 보다 더욱 정밀하게 위험수준을 평가하는 방법을 제시한다.

(1) 위험분석의 모호성

위험분석은 다음과 같은 논리적 전제를 근거로 한다.

IF likelihood=(l) and exposure=(e) and consequences=(c), THEN risk=(s)

여기서 l , e , c 는 각각 발생 가능성, 발생빈도, 결과의 심각성에 대한 언어변수이며, s 는 위험수준을 나타내는 언어변수이다. 그러나 상기 명제의 의미는 매우 모호하며, 따라서 고전적 논리의 규칙을 적용할 수 없다. 왜냐하면, 고전적 논리의 규칙은 명제의 의미가 애매하지 않을 때 적용 가능한 반면에[16], 위험분석에서는 모든 요인이 모호하고 부정확하므로 근사적 추론을 할 수 있는 다른 방법이 필요하기 때문이다. 본 연구에서는 Zadeh[10,11,12,13]의 퍼지추론법(fuzzy reasoning)을 이용하여 위험수준(risk score)을 근사적으로 추론한다.

(2) 위험분석을 위한 퍼지모형

Zadeh에 의하면, 퍼지근사추론이란 부정확한 전제의 집단으로부터 부정확한 결론을 유추하는 과정이다. 퍼지조건문(fuzzy conditional statement)과 합성규칙(compositional rule)을 이용한 근사추론법(approximate reasoning)[9]을 바탕으로 하는 위험 분석방법을 제시하였다.

예를 들면, <표 7>에서와 같이 각각 위험에 대한 노출 평가치(exposure), 발생 가능성(likelihood), 결과의 심각성(consequence) 및 위험수준(risk score)에 대한 술어 집합이며, 또한 E_1, E_2, \dots, E_m , L_1, L_2, \dots, L_m , C_1, C_2, \dots, C_m 및 S_1, S_2, \dots, S_m 은 각 인자의 등급을 나타내는 퍼지부분집합(fuzzy subset)이다. 어떤 특정한 위험상황에 대해서 다음과 같은 퍼지조건문이 성립하는 경우를 고려하자.

IF exposure = ' E_a ', likelihood = ' L_b ', consequences = ' C_c '

THEN risk = ' S_d '

이에 관하여, 다음과 같은 명제를 정의할 수 있다.

$$P_E ; E = 'E_a' = (e_{a1}, e_{a2}, \dots, e_{am})$$

$$P_L ; L = 'L_b' = (l_{b1}, l_{b2}, \dots, l_{bm})$$

$$P_C ; C = 'C_c' = (c_{c1}, c_{c2}, \dots, c_{cn})$$

$$P_S ; S = 'S_d' = (s_{d1}, s_{d2}, \dots, s_{dn})$$

<표 7> 위험분석의 소속함수

개별적 서술자		소속함수
E	E_1	$e_{11} e_{12} \dots e_{1j} \dots e_{1n}$
	E_2	$e_{21} e_{22} \dots e_{2j} \dots e_{2n}$
	\vdots	\vdots
	E_a	$e_{a1} e_{a2} \dots e_{aj} \dots e_{an}$
	E_m	$e_{m1} e_{m2} \dots e_{mj} \dots e_{mn}$
L	L_1	$l_{11} l_{12} \dots l_{1j} \dots l_{1n}$
	L_2	$l_{21} l_{22} \dots l_{2j} \dots l_{2n}$
	\vdots	\vdots
	L_b	$l_{b1} l_{b2} \dots l_{bj} \dots l_{bn}$
	L_m	$l_{m1} l_{m2} \dots l_{mj} \dots l_{mn}$
C	C_1	$c_{11} c_{12} \dots c_{1j} \dots c_{1n}$
	C_2	$c_{21} c_{22} \dots c_{2j} \dots c_{2n}$
	\vdots	\vdots
	C_c	$c_{c1} c_{c2} \dots c_{cj} \dots c_{cn}$
	C_m	$c_{m1} c_{m2} \dots c_{mj} \dots c_{mn}$
S	S_1	$s_{11} s_{12} \dots s_{1j} \dots s_{1n}$
	S_2	$s_{21} s_{22} \dots s_{2j} \dots s_{2n}$
	\vdots	\vdots
	S_d	$s_{d1} s_{d2} \dots s_{dj} \dots s_{dn}$
	S_m	$s_{m1} s_{m2} \dots s_{mj} \dots s_{mn}$

단, 여기서 P_E, P_L, P_C, P_S 는 각각 E, L, C, S 에 관한 퍼지명제이며, $j=1,2,\dots,n$ 에 대하여 $0 \leq e_{aj}, l_{bj}, c_{cj}, s_{dj} \leq 1$ 이 성립한다. 앞의 명제들을 퍼지는 리[82]에 의하여, 퍼지조건문으로 변환시키면

$$IF (E=P_E) \cap (C=P_C) \cap (L=P_L) THEN S=P_S \dots (3.1)$$

가 되고, 이 조건문의 전제조건은 $P = P_E \cap P_C \cap P_L$ 이다. 따라서 식 (3.1)에서의 퍼지관계 R은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R = R_E \cap R_C \cap R_L \dots (3.2)$$

단, R_E, R_C 및 R_L 은 각각 위험상황에 대한 노출 평가치, 결과의 심각성과 발생 가능성과 위험수준과의 퍼지관계를 나타내는 것으로, 다음과 같은 조건문으로 풀이할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &IF E = P_E THEN S = P_S \Rightarrow R_E = P_E \times P_S \\
 &IF E = P_L THEN S = P_S \Rightarrow R_L = P_L \times P_S \dots (3.3) \\
 &IF C = P_C THEN S = P_S \Rightarrow R_C = P_C \times P_S
 \end{aligned}$$

퍼지집합 이론과 <표 7>에 의해, R_E, R_L 및 R_C 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 R_E &= \int_{X_E \times X_S} (e_a \wedge s_d) / (x_E, x_s) \\
 R_L &= \int_{X_L \times X_S} (l_b \wedge s_d) / (x_L, x_s) \dots\dots\dots (3.4) \\
 R_C &= \int_{X_C \times X_S} (c_c \wedge s_d) / (x_c, x_s)
 \end{aligned}$$

여기서, X_E, X_L, X_C, X_S 는 각각 위험상황에 대한 노출 평가치, 발생 가능성, 결과의 심각성, 위험수준에 대한 퍼지집합이다.

이상과 같은 과정에 의해 위험상황에 대한 노출 평가치, 결과의 심각성 및 발생 가능성과 위험수준과의 관계가 도출되었으므로, 위험인자에 관한 조건이 변할 때 퍼지 합성규칙(fuzzy compositional rule)에 의한 근사추론법(approximate reasoning)을 이용하여 새로운 위험상황에 대한 위험수준을 추론할 수 있다. 여기서 위험인자의 조건이 $C = P_C'$ 및 $E = P_E', L = P_L'$ 로 변하였다고 가정하면, 합성규칙에 의해 결정되는 위험수준은;

$$\begin{aligned}
 S &= \bigcap_{i=E,L,C} (P_i' \cdot R_i) \\
 &= (P_E' \cdot R_E) \cap (P_L' \cdot R_L) \cap (P_C' \cdot R_C) \dots\dots\dots (3.5)
 \end{aligned}$$

로 표현되며, 따라서 식 (3.5)은 다음과 같이 계산된다.

$$S(X_s) = \bigwedge_{i=(E,L,C)} [\bigvee_{x_i \in X_i} \{ P_i'(x_i \wedge r_i(x_i; x_s)) \}] \dots\dots\dots (3.6)$$

지금까지 위험분석을 위한 퍼지모형을 정립하는데 있어서 위험인자들과 위험수준 간의 관계들을 도출하였으며, 이것을 이용하여 위험인자의 변화에 따르는 새로운 위험상황의 위험수준을 결정하였다. 그러나 위험상황의 퍼지값과 관련되는 시정 조치를 결정하기 위해서는 식 (3.6)의 결과에 의미를 부여시키는 문제가 남아있다. 언어 근사법(linguistic approximation)인 이 과정은 근사추론(approximate reasoning)에 의해 도출된 위험수준의 퍼지값을 위험수준에 관한 술어집합 S 중의 한 퍼지부분집합과 근사시키는 것이다. Kaufmann[7]의 해밍거리(Hamming distance)의 개념을 도입하여, 근사추론에 의한 위험분석의 퍼지부분집합과의 해밍거리를 최소화하는 S 내의 한 퍼지부분집합을 선택한다. A와 B가 집합 X의 퍼지부분집합이라 하면, A와 B간의 해밍거리는;

$$d(A, B) = \sum_{i=x_i \in X}^n | \mu_A(x_i) - \mu_B(x_i) | \dots\dots\dots (3.7)$$

라 하고, 식 (3.6)에 의해 도출된 퍼지집합을 $S_d^\circ = (s_{d1}, s_{d2}, s_{d3}, \dots, s_{dn}^\circ)$ 이라 하면, 여기에 근사하는 S내의 한 퍼지부분집합 S_d^* 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 S_d^* &= \text{Min}_{d \in \{1, 2, \dots, m\}} d(S_d^{\circ}, S_d) \\
 &= \text{Min}_{d \in \{1, 2, \dots, m\}} \sum_{i=1}^n |S_{di}^{\circ} - S_{di}|
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

4. 결론

위험상황의 불확실성에 관한 수학적 평가 과정에서 주로 확률적 척도를 부과하는 계량화 모형을 이용하고 있다. 그러나 이러한 모형은 위험상황에 대한 안전 전문가들의 주관적 판단의 모호성을 표현하기가 매우 곤란하다.

따라서, 본 연구에서는 퍼지집합론의 이론적 특성을 이용하여 위험평가 과정에서의 인간의 주관적 판단에 관한 모호성과의 연결을 시도하였다. 어떤 위험상황의 위험수준을 결정하는데 있어서 위험인자를 분류하는 여러 가지 방법이 있지만, 본 연구에서는 발생 가능성, 발생빈도, 결과의 심각성을 위험인자로 채택하였다. 전통적 위험분석에서는 이러한 위험인자들에 부과되는 수치등급의 곱(또는 조합)에 의하여 위험수준을 결정하고 있으나, 모호성이 내포된 각 인자에 주관적 특정 수치를 지정하고 더욱이 이들의 곱에 의해 위험수준을 표현하는 것은 부적합하다. 따라서 이러한 모순점을 제거하기 위하여 본 장에서는 각 인자들의 수준에 대한 안전 전문가들의 주관적 판단을 퍼지언어변수로 표현함으로써 새로운 위험평가의 개념을 제시하였으며, 퍼지집합론의 논리를 근거로 한 근사추론법을 이용하여 시스템 전체의 위험수준을 도출하는 위험평가 모형을 설정하였다.

5. 향후 Fuzzy이론 적용의 방향

전통적인 신뢰성 이론에 기초를 둔 고장률의 정의와 계산방식에 대해서는 많은 논문들에서 다루어져 왔다. 그러나 실제로 산업현장에서는 취급해야 하는 시스템이나 부품에 대해서는 충분한 고장데이터가 부족하거나 정리되어 있지 않은 경우가 많다. 이러한 경우에 전통적인 신뢰성 이론의 직접적인 사용을 어렵게 하고 있다. 그러나 시스템에 대해 정량적인 값으로 표현하기 어려운 각 사상(부품)에 대해서는 퍼지언어 변수로 변환하여 고장 가능성을 예측하는 것이 전통적인 신뢰성 방법보다 더욱더 바람직하다는 것을 알 수 있었다. 만일 부품 고장률에 대한 정보를 알고 있다면 F(t)의 고장 확률 값을 정확히 파악할 수 있을 뿐만 아니라 그것에 대응하는 고장 가능성 값도 정확히 추정할 수가 있을 것이다. 하지만 부품에 대한 확정적인 값과 불확실한 데이터가 동시에 있는 경우처럼 고장률의 확률분포함수를 모른다는 가정하에 고장이 발생할 확률을 0 과 1 사이에 두고 퍼지언어 변수를 사용하여 고장 가능성 값을 예측하여 사전에 시스템 고장을 예방할 수가 있다.

추후 나아갈 방향이라면 시스템의 신뢰성이나 안전성을 확보하기 위해서는 어떠한 고장원인 또는 어떠한 조합을 억제하면 좋은가를 해석결과로부터 얻을 수 있기 때문에 시스템의 도입이나 중요도가 높은 부품요소의 신뢰성을 높이는 등의 대책을 강구하여야 하며 이러한 불확실한 부품의 고장 가능성 및 각 사상의 고장 가능성 값은 확

정적으로 주어진 부품의 고장가능성 값과 구별하기 위하여 별도의 DB를 구축하여 저장시켜 둘 필요가 있다

5. 참고문헌

- [1] 김길동, 조 암, "퍼지집합에 의한 FT분석 및 신뢰성 분석," 산업안전학회지, Vol.12, No.3, 1997, pp.155-160
- [2] Brown, C. B., "A Fuzzy Safety Measure," *J. Eng. Mech. Div.*, Vol.5, 1979, pp.855-872.
- [3] Eshragh, F. and E. H. Mamdani, "A General Approach to Linguistic Approximation," *Int. J. Man-Machine Stud.*, Vol.11, 1979, pp.501~519.
- [4] Fine, W. T., *Mathematical Evaluations for Controlling Hazards.*, Academic Press, 1973.
- [5] Graham, K. T., G. T. Kinney, "A Practical Safety Analysis System for Hazards Control", *J. Safety Research*, Vol.12, 1980, pp.13-20.
- [6] Karwowski, W., A. Mital, "Application of approximate reasoning in risk analysis," *Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors*, 1986, pp.227-243.
- [7] Kaufmann, A., *Introduction Theory of Fuzzy Subsets*, Vol.I, Academic Press, New York, 1975.
- [8] Nath, A. K. and T. T. Lee, "On the Design of a Classifier with Linguistic Variables as Inputs," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.11, 1983, pp.265-286.
- [9] Wenstop, F., "Quantitative Analysis with Linguistic Values," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.4, 1980, pp.99-115.
- [10] Zadeh, L. A., "A Fuzzy Algorithmic Approach to Definition of Complex and Imprecise Concepts," *Int. J. Man-Machine Stud.*, Vol.8, 1976, pp.249-291.
- [11] Zadeh, L. A., "A Fuzzy Logic and Approximate Reasoning," *Synthese*, Vol.30, 1975, pp.407-428.
- [12] Zadeh, L. A., "Outline of a new approach th the analysis of complex systems and decision processws," *IEEE Trans. Systems Man Cybernet.*, Vol.3, 1973, pp.28-44.
- [13] Zadeh, L. A., "The Concept of Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning," *Information Sci.*, Part I; Vol.8, pp.199-249, Part II; Vol.8, pp.301-357, Part III; Vol.9, 1975, pp.43-80.
- [14] Zadeh, L. A., "The concept of a linguistic variable ant its application to approximate reasoning," *Information Science*, Vol.8, 1975, pp.301-357.
- [15] Zimmer, A. C., "A Model for the Interpretation of Verbal Predictions," *Int. J. Man-Machine Stud.*, Vol.20, 1984, pp.121-134.
- [16] Zimmer, A. C., *Verbal versus Numerical Processing*, North-Holland, Amsterdam, 1983.

저 자 소 개

- 임 총 규 : 한국방송대학 학부, 한남대 경영학박사
현재 한국과학재단 연구관리실장
관심분야는 생산관리, 경영관리, 시스템분석
- 박 주 식 : 인천대학교 산업공학과 와 동 대학원을 졸업하고, 명지대학교 대학원 산업공학과 박사과정이다. 관심분야 설비관리 및 보전, CIM, 자동화, Fuzzy응용,computer interface분야 등.
- 강 경 식 : 현 명지대학교 산업공학과 정교수.
명지대학교 산업안전센터 소장 및 안전경영과학회 회장
관심분야 생산운영시스템, 시스템 안전