모호집합을 이용한 가중 구성요소를 갖는 퍼지시스템의 신뢰도 분석
(Reliability Analysis of Fuzzy Systems With Weighted Components Using Vague Sets)

조 상 엽 † 박 사 준 ††
(Sang Yeop Cho) (Sa Joon Park)

요 약 기존 연구에서 퍼지시스템의 신뢰도는 0과 1사이의 실수, 퍼지숫자, 신용구간 등으로 표현하고 분석한다. 본 논문에서, 우리는 퍼지시스템의 가중 구성요소의 신뢰도와 가중 구성요소의 중요도를 반영하는 가중값을 전체집합 [0, 1]에서 정의되는 모호집합으로 표현하고 분석하는 방법을 제안한다. 모호집합은 참 소속함수와 거짓 소속함수로 구성된 구간으로 표현된다. 따라서 모호집합은 퍼지시스템의 신뢰도와 가중값를 더 유연한 방법으로 표현하는 것을 가능하게 한다. 제안된 방법은 퍼지시스템내의 가중 구성요소의 가중값을 고려하므로, 제안한 방법의 신뢰도분석은 기존의 방법들 보다 더 유연하고 효과적이다.

키워드 : 신뢰도분석, 퍼지시스템, 모호집합

Abstract In the conventional researches, the reliabilities of the fuzzy system are represented and analyzed by real values between zero and one, fuzzy numbers, intervals of confidence, etc. In this paper, we present a method to represent and analyze the reliabilities of the weighted components of the fuzzy system and the weights reflected on their importance based on vague sets defined in the universe of discourse [0, 1]. The vague set is represented as the interval consisted of the truth-membership functions and the false-membership functions, therefore it can allow the reliabilities and the weights of a fuzzy system to represent in a more flexible manner. The proposed method considers the weights of the weighted components in the fuzzy systems, its reliability analysis is more flexible and effective than the conventional methods.

Key words : Reliability Analysis, Fuzzy Systems, Vague Sets

1. 서 론

[1]에서 Kaufmann 등은 신뢰도 모형화(reliability modeling)는 신뢰도공학 분야 중에서 가장 중요한 것이라고 지적하였다. 기존의 신뢰도공학에서는 시스템의 동작을 다음과 같은 두 가지의 기본적인 가정에 기반을 둔 확률적인 척도(probability measure)로 그 특징을 기술하였다[1,2]:

(A) 이진상태가정(binary state assumption): 시스템은 단지 두 가지의 크리스프 상태를 나타낸다. 즉, 완전하게 동작하거나 동작하지 않는다. 어느 때이던지 시스템은 이 두 가지 상태 중 한 상태가 된다.

(B) 확률가정(probability assumption): 시스템의 동작은 확률척도로 완전하게 특징을 기술할 수 있다.

그러나 실세계에서는 사람의 오류나 자료의 부정확성과 불확실성 때문에 확률의 정확한 값의 평가하는 일이 많은 시스템에서 매우 어려워지게 되었다. 예를 들어 강물의 수위나 방안의 온도는 계속해서 변동하기 때문에 정확한 방법으로 측정하기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에 일련의 연구자들이 시스템의 신뢰도를 분석하기위해 퍼지집합이론[3]을 사용하는 것에 관심을 가지기 시작하였다[4-12].

[4]에서 cai는 기존의 신뢰도이론의 문제점을 해결하기 위한 두 가지의 새로운 가정을 제안하였다.

(A′) 퍼지상태가정(fuzzy state assumption): 시스템의 실패와 성공의 의미는 합리적인 방법으로 자세하게 정의할 수 없다. 그래서 어느 때이던지 시스템은 퍼지 성공상태나 퍼지 실패상태 중 한 가지 상태에 있는 것

† 정 회 원 : 청운대학교 인터넷학과 교수
sycho@chungwoon.ac.kr
†† 정 회 원 : 대구한의대학교 모바일콘텐츠학부 교수
phdjoon@dhu.ac.kr
논문접수 : 2006년 5월 17일
심사완료 : 2006년 10월 11일

으로 생각할 수 있다.

(B′) 가능성가정(possibility assumption): 시스템의 동작은 가능성척도로 완전하게 기술할 수 있다.

[5]에서 Singer는 결함나무(fault tree)와 신뢰도 분석에 퍼지집합 접근법을 제안하였다. 여기에서는 기존 사건의 상대적인 빈도수를 L-R형 퍼지숫자로 표현하고 퍼지숫자의 확장된 대수적 연산으로 중간값(mean value)과 선두사건(head event)의 허용한계(tolerance)를 평가하였다. [6]에서 Cheng 등은 퍼지실수의 α-수준집합을 신용구간(interval of confidence)이라 부르고, 이를 이용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. 여기에서는 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하기 위해서 퍼지숫자의 구간산술연산을 이용하였다. [7]에서 Chen은 많은 계산시간을 필요로 하는 [5]와 [6]의 문제를 해결하기 위해 삼각퍼지숫자의 단순화된 구조의 장점을 이용하여 더 빠른 퍼지산술연산이 가능한 방법을 제안하였다. [8]에서 Mon 등은 서로 다른 소속함수를 갖는 구성요소에 대하여 비선형 프로그래밍 방법을 적용하여 퍼지 시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. [9]에서 Utkin 등은 가능성을 이용하여 다양한 시스템의 퍼지 신뢰도 분석을 위해 연립함수 방정식(system of functional equations)을 사용하는 방법을 제안하였다. [10]에서 Cai는 시스템실패공학을 소개하고 퍼지방법론의 사용법을 제안하였다. [11]에서 Chen은 시스템의 구성요소에 대한 신뢰도를 모호집합(vague set)으로 표현하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. [12]에서 Wu는 퍼지환경에서 베이지언 신뢰도 평가를 하기위해 기존의 베이지언 추정방법(estimation)을 퍼지집합 이론의 분해원리(resolution identity)를 이용하여 신뢰도의 퍼지 베이지언 점 추정자를 생성하여 사용하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 시스템을 구성하는 구성요소의 중요도에 따라 가중값을 갖는 구성요소로 구성된 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안한다. 여기에서 각 시스템 구성요소의 신뢰도와 가중값은 전체집합(universe of discourse)[0,1]에서 정의되는 모호집합(vague set)[11-14]으로 표현한다. 모호집합은 모호집합의 원소 u_i에 대한 증거에서 유도되는 참 소속함수 $t_A(u_i)$와 원소에 반하는 증거에서 유도되는 거짓 소속함수 $f_A(u_i)$로 구성된다. $t_A(u_i)+f_A(u_i) \le 1$. u_i의 소속정도 $\mu_A(u_i)$는 [0,1]의 부분구간인 $[t_A(u_i),\ 1-f_A(u_i)]$로 범위를 한정할 수 있다. 시스템 구성요소의 신뢰도와 구성요소의 중요도에 따라 가중값을 모호집합으로 표현하면, 소속정도를 하나의 실수값으로 표현하는 기존의 퍼지집합에 기반을 둔 방법보다는 더 유연한 표현과 효율적인 추론을 하는 것이 가능하다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모호집합에 대하여 간단히 소개한다. 3장에서는 모호집합을 이용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안한다. 4장에서는 예를 보인다. 그리고 5장에서는 결론을 기술한다.

2. 모호집합

Zadeh는 [3]에서 퍼지집합 이론을 제안하였다. 퍼지집합은 퍼지경계의 한 종류로 분류할 수 있다. U를 전체집합 $U=\{u_1,\ u_2,\ \cdots,\ u_n\}$이라고 하자. 퍼지집합에 있는 원소 u_i의 소속정도는 0과 1사이의 실수로 표현할 수 있다. $u_i \in U$. Gau et al.은 [13]에서 이 값은 $u_i \in U$에 대한 증거와 $u_i \in U$에 반하는 증거를 결합한 것이라고 지적하고, 이 값은 $u_i \in U$에 대한 증거를 가리키는 것도 아니고 $u_i \in U$에 반하는 증거를 가리키는 것도 아니다라고 하였다. 더욱이 이 값은 정확성에 대해서는 아무것도 나타내지 못한다고 지적하였다. 그래서 Gau et al.은 [13]에서 모호집합을 제안하였다. Chen은 [14]에서는 모호집합에 대한 산술연산 방법을 제안하였다.

U를 전체집합 $U=\{u_1,\ u_2,\ \cdots,\ u_n\}$이라 하고, u_i를 U의 원소라고 하자. 전체집합 U에 있는 모호집합 A는 참소속함수 $t_A:U \to [0,1]$와 거짓소속함수 $f_A:U \to [0,1]$으로 표현한다. 여기에서 $t_A(u_i)$는 u_i에 대한 증거에서 유도되는 u_i의 소속정도의 하한이고, $f_A(u_i)$는 u_i에 반하는 증거에서 유도되는 u_i에 대한 부정의 하한이다. $t_A(u_i)+f_A(u_i) \le 1$. 모호집합 A에 있는 u_i의 소속정도 $\mu_A(u_i)$는 [0,1]의 부분구간인 $[t_A(u_i),\ 1-f_A(u_i)]$에 의해 한정된다. 모호값 $[t_A(u_i),\ 1-f_A(u_i)]$은 u_i의 정확한 소속정도 $\mu_A(u_i)$가 $t_A(u_i) \le \mu_A(u_i) \le 1-f_A(u_i)$로 한정된다는 것을 가리킨다. $t_A(u_i)+f_A(u_i) \le 1$. 전체집합 U의 모호집합 A가 그림 1에 있다.

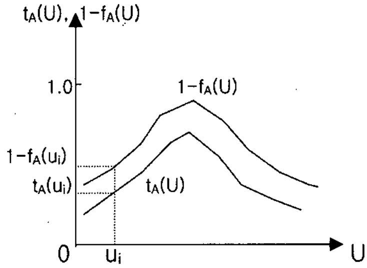

그림 1 모호집합

전체집합 U가 유한집합일 때, U의 모호집합 A는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A=\sum_{i=1}^{n}[t_A(u_i),\ 1-f_A(u_i)]/u_i. \tag{1}$$

전체집합 U가 무한집합일 때, U의 모호집합 A는 다

음과 같이 표현할 수 있다.

$$A=\int_{U}[t_A(u_i),\ 1-f_A(u_i)]/u_i,\ u_i \in U. \qquad (2)$$

예를 들어 $U=\{1, 2, \cdots, 10\}$이라고 가정하자. U의 모호집합 SMALL은 다음과 같이 정의한다:

$$SMALL = [1, 1]/1 + [0.9, 1]/2 + [0.6, 0.8]/3 + [0.3, 0.5]/4 + [0.1, 0.2]/5.$$

정의 2.1 A가 전체집합 U의 모호집합이고, 참소속함수 t_A와 거짓소속함수 f_A를 갖는다고 하자. 모호집합 A는 U에 있는 모든 u_1과 u_2에 대하여 식 (3)과 (4)를 만족하면 볼록(convex)이다.

$$t_A(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq Min(t_A(u_1), t_A(u_2)), \qquad (3)$$

$$1-f_A(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq Min(1-f_A(u_1), 1-f_A(u_2)), \quad (4)$$

여기에서 $\lambda \in [0,1]$.

정의 2.2 만일 $\exists u_i \in U$, s.t. $1-f_A(u_1)=1$이면 즉, $f_A(u_1)=0$이면 전체집합 U의 모호집합 A는 정상(normal) 모호집합이다.

정의 2.3 모호숫자(vague number)는 전체집합 U에서 볼록이고 정상인 모호 부분집합이다.

그림 2에 보이는 삼각 모호집합을 고려해보자, 여기에서 삼각 모호집합 A는 쌍(tuple) $<[(a, b, c); \mu_1], [(a, b, c); \mu_2]>$으로 기술한다. 쌍 $<[(a, b, c); \mu_1], [(a, b, c); \mu_2]>$은 $<[(a, b, c); \mu_1; \mu_2]>$로 표현할 수도 있다. 여기에서 $0 \leq \mu_1 \leq \mu_2 \leq 1$.

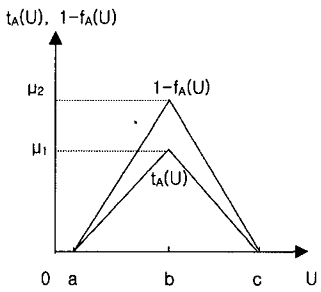

그림 2 삼각 모호집합

삼각 모호숫자에 대한 산술연산은 두 가지 사례로 나누어 정의한다[11,13,14].

사례 1 그림 3과 같은 삼각 모호집합 A와 B를 생각해보자, 여기에서

$A = <[(a_1, b_1, c_1); \mu_1], [(a_1, b_1, c_1); \mu_2]>$
$= <[(a_1, b_1, c_1); \mu_1; \mu_2]>$,

$B = <[(a_2, b_2, c_2); \mu_1], [(a_2, b_2, c_2); \mu_2]>$
$= <[(a_2, b_2, c_2); \mu_1; \mu_2]>$,

그리고 $0 \leq \mu_1 \leq \mu_2 \leq 1$.

삼각 모호집합 A와 B사이의 산술연산은 아래와 같이 정의한다:

$$A\oplus B=<[(a_1, b_1, c_1); \mu_1], [(a_1, b_1, c_1); \mu_2]>\oplus<[(a_2, b_2, c_2); \mu_1], [(a_2, b_2, c_2); \mu_2]>$$
$$=<[(a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2); \mu_1], [(a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2); \mu_2]>$$
$$=<[(a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2); \mu_1; \mu_2]> \qquad (5)$$

$$B\ominus A=<[(a_2, b_2, c_2); \mu_1], [(a_2, b_2, c_2); \mu_2]>\ominus<[(a_1, b_1, c_1); \mu_1], [(a_1, b_1, c_1); \mu_2]>$$
$$=<[(a_2-c_1, b_2-b_1, c_2-a_1); \mu_1], [(a_2-c_1, b_2-b_1, c_2-a_1); \mu_2]>$$
$$=<[(a_2-c_1, b_2-b_1, c_2-a_1); \mu_1; \mu_2]> \qquad (6)$$

$$A\otimes B=<[(a_1, b_1, c_1); \mu_1], [(a_1, b_1, c_1); \mu_2]>\otimes<[(a_2, b_2, c_2); \mu_1], [(a_2, b_2, c_2); \mu_2]>$$
$$=<[(a_1\times a_2, b_1\times b_2, c_1\times c_2); \mu_1], [(a_1\times a_2, b_1\times b_2, c_1\times c_2); \mu_2]>$$
$$=<[(a_1\times a_2, b_1\times b_2, c_1\times c_2); \mu_1; \mu_2]> \qquad (7)$$

$$B\oslash A=<[(a_2, b_2, c_2); \mu_1], [(a_2, b_2, c_2); \mu_2]>\oslash<[(a_1, b_1, c_1); \mu_1], [(a_1, b_1, c_1); \mu_2]>$$
$$=<[(a_2/c_1, b_2/b_1, c_2/a_1); \mu_1], [(a_2/c_1, b_2/b_1, c_2/a_1); \mu_2]>$$
$$=<[(a_2/c_1, b_2/b_1, c_2/a_1); \mu_1; \mu_2]> \qquad (8)$$

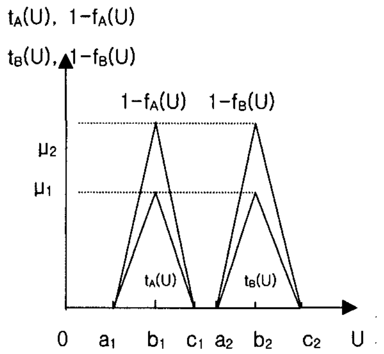

그림 3 삼각 모호집합 A와 B(사례1)

사례 2 그림 4와 같은 삼각 모호집합 A와 B를 생각해보자, 여기에서

$A=<[(a_1, b_1, c_1); \mu_1], [(a_1, b_1, c_1); \mu_2]>$,
$B=<[(a_2, b_2, c_2); \mu_3], [(a_2, b_2, c_2); \mu_4]>$,
그리고 $0 \leq \mu_3 \leq \mu_1 \leq \mu_4 \leq \mu_2 \leq 1$.

삼각 모호집합 A와 B사이의 산술연산은 아래와 같이 정의한다:

$$A\oplus B=<[(a_1, b_1, c_1); \mu_1], [(a_1, b_1, c_1); \mu_2]>\oplus<[(a_2, b_2, c_2); \mu_3], [(a_2, b_2, c_2); \mu_4]>$$
$$=<[(a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2); Min(\mu_1, \mu_3)], [(a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2); Min(\mu_2, \mu_4)]>$$
$$=<[(a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2); Min(\mu_1, \mu_3); Min(\mu_2, \mu_4)]> \qquad (9)$$

$$B\ominus A=<[(a_2, b_2, c_2);\ \mu_3], [(a_2, b_2, c_2);\ \mu_4]>\ominus<[(a_1, b_1, c_1);\ \mu_1], [(a_1, b_1, c_1);\ \mu_2]>$$
$$=<[(a_2-c_1, b_2-b_1, c_2-a_1);\ Min(\mu_1, \mu_3)], [(a_2-c_1, b_2-b_1, c_2-a_1);\ Min(\mu_2, \mu_4)]>$$
$$=<[(a_2-c_1, b_2-b_1, c_2-a_1);\ Min(\mu_1, \mu_3);\ Min(\mu_2, \mu_4)]> \quad (10)$$

$$A\otimes B=<[(a_1, b_1, c_1);\ \mu_1], [(a_1, b_1, c_1);\ \mu_2]>\otimes<[(a_2, b_2, c_2);\ \mu_3], [(a_2, b_2, c_2);\ \mu_4]>$$
$$=<[(a_1\times a_2, b_1\times b_2, c_1\times c_2);\ Min(\mu_1, \mu_3)], [(a_1\times a_2, b_1\times b_2, c_1\times c_2);\ Min(\mu_2, \mu_4)]>$$
$$=<[(a_1\times a_2, b_1\times b_2, c_1\times c_2);\ Min(\mu_1, \mu_3);\ Min(\mu_2, \mu_4)]> \quad (11)$$

$$B\oslash A=<[(a_2, b_2, c_2);\ \mu_3], [(a_2, b_2, c_2);\ \mu_4]>\oslash<[(a_1, b_1, c_1);\ \mu_1], [(a_1, b_1, c_1);\ \mu_2]>$$
$$=<[(a_2/c_1, b_2/b_1, c_2/a_1);\ Min(\mu_1, \mu_3)], [(a_2/c_1, b_2/b_1, c_2/a_1);\ Min(\mu_2, \mu_4)]>$$
$$=<[(a_2/c_1, b_2/b_1, c_2/a_1);\ Min(\mu_1, \mu_3);\ Min(\mu_2, \mu_4)]> \quad (12)$$

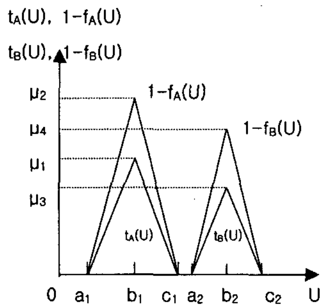

그림 4 삼각 모호집합 A와 B(사례2)

3. 퍼지시스템의 신뢰도 분석

이절에서는 모호집합에 기반을 둔 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안한다. 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하기 위해 시스템의 구성요소가 가지는 신뢰도와 전체 시스템에서 구성요소가 가지는 중요도에 따라 가중값을 부여한다. 여기에서 구성요소가 가지는 신뢰도와 가중값은 전체집합 [0, 1]에서 정의되는 모호집합으로 표현한다.

순차시스템은 그림 5와 같이 생각할 수가 있다[5-7, 11]. 여기에서 하위시스템 P_i의 신뢰도와 가중값은 모호숫자 R_i, $R_i=<[(a_i, b_i, c_i);\ \mu_{i1};\ \mu_{i2}]>$, $0\le\mu_{i1}\le\mu_{i2}\le1$, $1\le i\le n$과 W_i, $W_i=<[(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i);\ \delta_{i1};\ \delta_{i2}]>$, $0\le\delta_{i1}\le\delta_{i2}\le1$, $1\le i\le n$로 각각 표기할 수 있다.

그림 5 순차시스템의 구성

그림 5와 같은 순차시스템의 신뢰도 P는 구성요소의 신뢰도와 가중값을 고려하여 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$P=\prod_{i=1}^{n}(R_i\otimes W_i)$$
$$=R_1\otimes W_1\otimes R_2\otimes W_2\otimes\cdots\otimes R_n\otimes W_n$$
$$=<[(a_1, b_1, c_1);\ \mu_{11};\ \mu_{12}]>\otimes<[(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1);\ \delta_{11};\ \delta_{12}]>\otimes<[(a_2, b_2, c_2);\ \mu_{21};\ \mu_{22}]>\otimes<[(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2);\ \delta_{21};\ \delta_{22}]>\otimes\cdots\otimes<[(a_n, b_n, c_n);\ \mu_{n1};\ \mu_{n2}]>\otimes<[(\alpha_n, \beta_n, \gamma_n);\ \delta_{n1};\ \delta_{n2}]>$$
$$=<[(a_1\times\alpha_1, b_1\times\beta_1, c_1\times\gamma_1);\ Min(\mu_{11}, \delta_{11});\ Min(\mu_{12}, \delta_{12})]>\otimes<[(a_2\times\alpha_2, b_2\times\beta_2, c_2\times\gamma_2);\ Min(\mu_{21}, \delta_{21});\ Min(\mu_{22}, \delta_{22})]>\otimes\cdots\otimes<[(a_n\times\alpha_n, b_n\times\beta_n, c_n\times\gamma_n);\ Min(\mu_{n1}, \delta_{n1});\ Min(\mu_{n2}, \delta_{n2})]>$$
$$=<[(\prod_{i=1}^{n}(a_i\times\alpha_i), \prod_{i=1}^{n}(b_i\times\beta_i), \prod_{i=1}^{n}(c_i\times\gamma_i));\ \bigcap_{i=1}^{n}(\mu_{i1}, \delta_{i1});\ \bigcap_{i=1}^{n}(\mu_{i2}, \delta_{i2})]>$$

여기에서 ∩는 Min 연산자이다.

병렬시스템은 그림 6과 같이 생각할 수 있다[5-7, 11]. 여기에서 하위시스템 P_i의 신뢰도와 가중값은 모호숫자 R_i, $R_i=<[(a_i, b_i, c_i);\ \mu_{i1};\ \mu_{i2}]>$, $0\le\mu_{i1}\le\mu_{i2}\le1$, $1\le i\le n$과 W_i, $W_i=<[(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i);\ \delta_{i1};\ \delta_{i2}]>$, $0\le\delta_{i1}\le\delta_{i2}\le1$, $1\le i\le n$로 각각 표기할 수 있다.

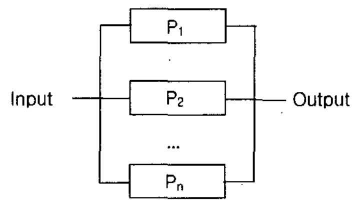

그림 6 병렬시스템의 구성

그림 6과 같은 병렬시스템의 신뢰도 P는 구성요소의 신뢰도와 가중값을 고려하여 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$P=1\ominus\prod_{i=1}^{n}(1\ominus R_i\otimes W_i)$$
$$=1\ominus\prod_{i=1}^{n}(1\ominus<[(a_i, b_i, c_i);\ \mu_{i1};\ \mu_{i2}]>\otimes<[(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i);\ \delta_{i1};\ \delta_{i2}]>)$$
$$=1\ominus\prod_{i=1}^{n}(<[(1, 1, 1);1;\ 1]>\ominus<[(a_i\times\alpha_i, b_i\times\beta_i, c_i\times\gamma_i);\ Min(\mu_{i1},\delta_{i1});\ Min(\mu_{i2},\delta_{i2})]>)$$

$$= 1 \ominus \langle [(\prod_{i=1}^{n}(1-c_i \times \gamma_i),\ \prod_{i=1}^{n}(1-b_i \times \beta_i),\ \prod_{i=1}^{n}(1-a_i \times \alpha_i));$$

$$\bigcap_{i=1}^{n}(1,\mu_{i1},\delta_{i1});\ \bigcap_{i=1}^{n}(1,\mu_{i2},\delta_{i2})] \rangle$$

$$= \langle [1-\prod_{i=1}^{n}(1-a_i \times \alpha_i),\ 1-\prod_{i=1}^{n}(1-b_i \times \beta_i),\ 1-\prod_{i=1}^{n}(1-c_i \times \gamma_i);$$

$$\bigcap_{i=1}^{n}(1,1,\mu_{i1},\delta_{i1});\ \bigcap_{i=1}^{n}(1,1,\mu_{i2},\delta_{i2})] \rangle$$

여기에서 $\cap$는 Min 연산자이다.

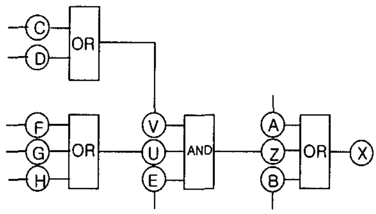

그림 7 예에 대한 결합나무

4. 예([5-7]의 예를 기반으로)

서로 인접해 있는 두 대의 연마기계가 동작하고 있다고 가정하자. 이 기계들의 근처에 다가온 사람이 연마기계에서 나온 부스러기가 눈으로 들어가 다칠 수 있는 가능성은 얼마인가? 가장 위험한 사람은 기계를 조작하는 조작원이고 조작원들은 보안경을 착용할 의무가 있으나 종종 보안경을 착용하지 않는다. 그리고 기계근처로 재료로 사용할 물건들을 가져오는 사람들과 연마기계에서 만들어진 생산품 가져가는 사람들 그리고 다른 이유로 인해 연마기계근처에 오는 사람들도 위험하다. 누군가가 다칠 수 있는 주요사건에 대한 결합나무는 그림 7과 같이 만들 수가 있다.

사고가 날 수 있는 기본적인 사건들의 신뢰도와 가중값은 표 1과 2에 각각 정리되어있다(자료출처[5-7]). 기본사건들은 상호 독립적이고 기본사건의 신뢰도와 가중값은 모호숫자 R_i, $R_i = \langle [(a_i, b_i, c_i);\ \mu_{i1};\ \mu_{i2}] \rangle$, $0 \le \mu_{i1} \le \mu_{i2} \le 1$, $1 \le i \le n$과 W_i, $W_i = \langle [(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i);\ \delta_{i1};\ \delta_{i2}] \rangle$, $0 \le \delta_{i1} \le \delta_{i2} \le 1$, $1 \le i \le n$로 각각 표기할 수 있다.

표 1과 2에 의해 얻을 수 있는 퍼지시스템의 구성요소에 대한 신뢰도 R_i와 가중값 W_i은 다음과 같다. 그리고 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 중간과정에서 구해야하는 가중값 W_U, W_V, W_Z 등의 가중값은 1로 가정한다.

$R_A = \langle [(0.00888,\ 0.02,\ 0.03112);\ 1.0;\ 0.95] \rangle$,
$R_B = \langle [(0.00888,\ 0.02,\ 0.03112);\ 1.0;\ 0.95] \rangle$,
$R_C = \langle [(0.75552,\ 0.8,\ 0.84448);\ 1.0;\ 0.95] \rangle$,
$R_D = \langle [(0.75552,\ 0.8,\ 0.84448);\ 1.0;\ 0.95] \rangle$,
$R_E = \langle [(0.94434,\ 1.0,\ 1.05566);\ 1.0;\ 0.95] \rangle$,
$R_F = \langle [(0.04722,\ 0.05,\ 0.05278);\ 1.0;\ 0.90] \rangle$,
$R_G = \langle [(0.04722,\ 0.05,\ 0.05278);\ 1.0;\ 0.90] \rangle$,
$R_H = \langle [(0.00944,\ 0.01,\ 0.01056);\ 1.0;\ 0.90] \rangle$.

$W_A = \langle [(0.89712,\ 0.95,\ 1.00288);\ 1.0;\ 0.95] \rangle$,

표 1 사고에 영향을 주는 기본사건들의 신뢰도

기호	기본사건	a_i	b_i	c_i	μ_{i1}	μ_{i2}
A	조작원1이 보안경을 미착용	0.00888	0.02	0.03112	1.0	0.95
B	조작원2가 보안경을 미착용	0.00888	0.02	0.03112	1.0	0.95
C	기계1이 동작 중	0.75552	0.8	0.84448	1.0	0.95
D	기계2가 동작 중	0.75552	0.8	0.84448	1.0	0.95
E	보안경 없이 들어온 사람	0.94434	1.0	1.05566	1.0	0.95
F	재료를 가져오는 사람	0.04722	0.05	0.05278	1.0	0.90
G	생산품을 가져가는 사람	0.04722	0.05	0.05278	1.0	0.90
H	다른 이유로 들어오는 사람	0.00944	0.01	0.01056	1.0	0.90

표 2 사고에 영향을 주는 기본사건들의 가중값

기호	기본사건	α_i	β_i	γ_i	δ_{i1}	δ_{i2}
A	조작원1이 보안경을 미착용	0.89712	0.95	1.00288	1.0	0.95
B	조작원2가 보안경을 미착용	0.89712	0.95	1.00288	1.0	0.95
C	기계1이 동작 중	0.8499	0.90	0.9501	1.0	0.95
D	기계2가 동작 중	0.8499	0.90	0.9501	1.0	0.95
E	보안경 없이 들어온 사람	0.89712	0.95	1.00288	1.0	0.95
F	재료를 가져오는 사람	0.8499	0.90	0.9501	1.0	0.90
G	생산품을 가져가는 사람	0.8499	0.90	0.9501	1.0	0.90
H	다른 이유로 들어오는 사람	0.75547	0.80	0.84453	1.0	0.90

$W_B=<[(0.89712, 0.95, 1.00288); 1.0; 0.95]>$,
$W_C=<[(0.8499, 0.90, 0.9501); 1.0; 0.95]>$,
$W_D=<[(0.8499, 0.90, 0.9501); 1.0; 0.95]>$,
$W_E=<[(0.89712, 0.95, 1.00288); 1.0; 0.95]>$,
$W_F=<[(0.8499, 0.90, 0.9501); 1.0; 0.90]>$,
$W_G=<[(0.8499, 0.90, 0.9501); 1.0; 0.90]>$,
$W_H=<[(0.75547, 0.80, 0.84453); 1.0; 0.90]>$.

사건 X에 대한 진리값 함수는 다음과 같이 기술할 수 있다.

$U=F+G+H$,
$V=C+D$,
$Z=E\times U\times V$,
$X=A+B+Z$.

그래서 앞에서 유도한 식에 의해 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$
\begin{aligned}
R_U &= 1\ominus(1\ominus R_F\otimes W_F)\otimes(1\ominus R_G\otimes W_G)\otimes(1\ominus R_H\otimes W_H) \\
&= 1\ominus(1\ominus<[(0.04722, 0.05, 0.05278); 1.0; 0.90]> \\
&\qquad \otimes<[(0.8499, 0.90, 0.9501); 1.0; 0.90]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.04722, 0.05, 0.05278); 1.0; 0.90]> \\
&\qquad \otimes<[(0.8499, 0.90, 0.9501); 1.0; 0.90]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.00944, 0.01, 0.01056); 1.0; 0.90]> \\
&\qquad \otimes<[(0.75547, 0.80, 0.84453); 1.0; 0.90]>) \\
&= 1\ominus(1\ominus<[(0.04013, 0.045, 0.05015); 1.0; 0.90]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.04013, 0.045, 0.05015); 1.0; 0.90]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.00713, 0.008, 0.00892); 1.0; 0.90]>) \\
&= 1\ominus<[(0.94985, 0.955, 0.95987); 1.0; 0.90]>) \\
&\quad \otimes<[(0.94985, 0.955, 0.95987); 1.0; 0.90]>) \\
&\quad \otimes<[(0.99108, 0.992, 0.99287); 1.0; 0.90]>) \\
&= 1\ominus<[(0.89417, 0.90473, 0.91478); 1.0; 0.90]> \\
&= <[(0.08522, 0.09527, 0.10583); 1.0; 0.90]>
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
R_V &= 1\ominus(1\ominus R_C\otimes W_C)\otimes(1\ominus R_D\otimes W_D)) \\
&= 1\ominus(1\ominus<[(0.75552, 0.8, 0.84448); 1.0; 0.95]> \\
&\qquad \otimes<[(0.8499, 0.90, 0.9501); 1.0; 0.95]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.75552, 0.8, 0.84448); 1.0; 0.95]> \\
&\qquad \otimes<[(0.8499, 0.90, 0.9501); 1.0; 0.95]>) \\
&= 1\ominus(1\ominus<[(0.64212, 0.72, 0.80234); 1.0; 0.95]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.64212, 0.72, 0.80234); 1.0; 0.95]>) \\
&= 1\ominus<[(0.19766, 0.28, 0.35788); 1.0; 0.95]> \\
&\quad \otimes<[(0.19766, 0.28, 0.35788); 1.0; 0.95]> \\
&= 1\ominus<[(0.03907, 0.0784, 0.12808); 1.0; 0.95]> \\
&= <[(0.87192, 0.9216, 0.96093); 1.0; 0.95]>
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
R_Z &= R_E\otimes W_E\otimes R_U\otimes W_U\otimes R_V\otimes W_V \\
&= <[(0.94434, 1.0, 1.05566); 1.0; 0.95]>\otimes<[(0.89712, \\
&\quad 0.95, 1.00288); 1.0; 0.95]> \\
&\quad \otimes<[(0.08522, 0.09527, 0.10583); 1.0; 0.90]>\otimes \\
&\qquad <[(1, 1, 1); 1.0; 1.0]> \\
&\quad \otimes<[(0.87192, 0.9216, 0.96093); 1.0; 0.95]>\otimes \\
&\qquad <[(1, 1, 1); 1.0; 1.0]> \\
&= <[(0.84719, 0.95, 1.058709); 1.0; 0.95]> \\
&\quad \otimes<[(0.08522, 0.09527, 0.10583); 1.0; 0.90]> \\
&\quad \otimes<[(0.87192, 0.9216, 0.96093); 1.0; 0.95]> \\
&= <[(0.06295, 0.08341, 0.10767); 1.0; 0.90]>
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
R_X &= 1\ominus(1\ominus R_A\otimes W_A)\otimes(1\ominus R_B\otimes W_B)\otimes(1\ominus R_Z\otimes W_Z) \\
&= 1\ominus(1\ominus<[(0.00888, 0.02, 0.03112); 1.0; 0.95]> \\
&\qquad \otimes<[(0.89712, 0.95, 1.00288); 1.0; 0.95]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.00888, 0.02, 0.03112); 1.0; 0.95]> \\
&\qquad \otimes<[(0.89712, 0.95, 1.00288); 1.0; 0.95]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.06295, 0.08341, 0.10767); 1.0; 0.90]> \\
&\qquad \otimes<[(1, 1, 1); 1.0; 1.0]>) \\
&= 1\ominus(1\ominus<[(0.00797, 0.019, 0.03121); 1.0; 0.95]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.00797, 0.019, 0.03121); 1.0; 0.95]>) \\
&\quad \otimes(1\ominus<[(0.06295, 0.08341, 0.10767); 1.0; 0.90]>) \\
&= 1\ominus<[(0.96879, 0.981, 0.99203); 1.0; 0.95]> \\
&\quad \otimes<[(0.96879, 0.981, 0.99203); 1.0; 0.95]> \\
&\quad \otimes<[(0.89233, 0.91659, 0.93705); 1.0; 0.90]> \\
&= 1\ominus<[(0.8375, 0.88209, 0.92217); 1.0; 0.90]> \\
&= <[(0.07783, 0.11791, 0.1625); 1.0; 0.90]>
\end{aligned}
$$

이상의 결과는 [5-7] 등의 연구에서 보여준 결과와 매우 유사한 결과를 보여준다. 그러나 퍼지시스템 구성 요소의 중요도에 기반을 둔 가중값을 고려하고, 신뢰도와 가중값을 모호집합으로 표현한 이 방법은, 소속정도를 하나의 실수값으로 표현하는 기존의 퍼지집합에 기반을 둔 방법보다는 퍼지시스템을 분석할 때 더 유연하고 효과적인 분석이 가능하다.

5. 결 론

본 논문에서는 퍼지시스템 구성요소의 중요도에 따라 가중값을 부여하여 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 여기에서 각 퍼지시스템의 구성요소의 신뢰도와 가중값은 모호집합으로 표현한다. 제안한 방법은 퍼지 시스템의 신뢰도를 분석할 때 구성요소의 중요도를 반영하는 가중값을 사용하고, 신뢰도와 가중값의 소속정도를 하나의 실수값으로 표현하지 않고 모호집합에 기반을 둔 구간으로 표현하므로 기존의 분석방법보다 더 유연하고 효과적인 신뢰도 평가가 가능하다.

참 고 문 헌

[1] Kaufmann, A., and Gupla, M. M., "Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science," North-Holland, Amsterdam, 1988.

[2] Cai, K. Y., Wen, C. Y., and Zhang, M. L., "Fuzzy Variables As a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability in Possibility Context," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 42, pp.145-172, 1991.

[3] Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets," Information and Control 8, pp.338-353, 1965.

[4] Cai, K. Y., Wen, C. Y., and Zhang, M. L., "Posbist Reliability Behavior of Typical Systems With Two Types of Failure," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 43, pp.17-32, 1991.

[5] Singer, D., "A Fuzzy Set Approach To Fault Tree and Reliability Analysis," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 34, pp.145-155, 1990.

[6] Cheng, C. H., and Mon, D. L., "Fuzzy System Reliability Analysis by Interval of Confidence," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 56, pp.29-35, 1993.

[7] Chen, Shyi-Ming, "Fuzzy System Reliability Analysis Using Fuzzy Number Arithmetic Operations, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 64, pp.31-38, 1994.

[8] Mon, D. L., and Cheng, C. H., "Fuzzy System Reliability Analysis for Components With Different Membership Functions," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 64, pp.147-157, 1994.

[9] Utkin, L. V., and Gurov, S. V., "A General Formal Approach for Fuzzy Reliability Analysis in the Possibility Context," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 83, pp.203-213, 1996.

[10] Cai, K. Y., "Systems Failure Engineering and Fuzzy Methodology: An Introductory Overview," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 83, pp.113-133, 1996.

[11] Chen, Shyi-Ming, "Analysis Fuzzy System Reliability Using Vague Set Theory," Int'l Jl. of Applied Science and Engineering, Vol. 1, pp.82-88, 2003.

[12] Wu, H. C., "Fuzzy Reliability Estimation Using Bayesian Approach," Computers and Industrial Engineering 46, pp.467-493, 2004.

[13] Gau, Wen-Lung, and Buehrer, Daniel J., "Vague Sets," IEEE Trans. on SMC, Vol. 23, No. 2, pp.610-614, 1993.

[14] Chen, Shyi-Ming, "Arithmetic Operations Between Vague Sets," Proceedings of the Int'l Joint Conf. of CFSA/IFIS/SOFT'95 on Fuzzy Theory and Applications, Taipei, Taiwan, Republic of China, pp.206-211, 1995.

조 상 엽

1986년 한남대학교 전자계산학과(학사) 1988년 중앙대학교 대학원 전자계산학과(석사). 1993년 중앙대학교 대학원 전자계산학과(박사). 1995년~현재 청운대학교 인터넷학과 교수. 관심분야는 인공지능, 퍼지이론, 페트리네트 응용

박 사 준

1990년 중앙대학교 전자계산학과(이학사) 1994년 중앙대학교 컴퓨터공학과(공학석사). 2004년 중앙대학교 컴퓨터공학과(공학박사). 2005년~현재 대구한의대학교 모바일콘텐츠학부 전임강사. 관심분야는 인공지능, 시맨틱 웹, 진화 모델, 신경망