

퍼지숫자를 기반으로 가중 구성요소를 갖는 퍼지시스템의 신뢰도분석☆

Fuzzy System Reliability Analysis With Weighted Components Based on Fuzzy Numbers

조 상 엽*
Sang-Yeop Cho

요 약

일반적으로 퍼지시스템의 신뢰도는 0과 1사이의 실수, 퍼지숫자, 신용구간, 구간값 퍼지집합, 모호집합 등으로 표현하고 분석한다. 본 논문은 시스템에서 가중 구성요소의 중요도를 반영하는 가중값을 갖는 가중 구성요소를 위한 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 설명한다. 퍼지시스템에서 가중 구성요소들의 신뢰도와 가중값은 삼각 퍼지숫자로 표현한다. 제안한 방법은 삼각 퍼지숫자의 퍼지산술연산을 사용하고 가중 구성요소의 가중값을 고려한다. 그러므로 기존의 방법들 보다 실행속도가 더 빠르고 그리고 더 유연한 실행이 가능하다.

Abstract

In general, the reliabilities of the fuzzy system are represented and analyzed by real numbers between zero and one, fuzzy numbers, intervals of confidence, interval-valued fuzzy sets, vague sets, etc. This paper addresses the method to analyze the reliability of the fuzzy system for the weighted components with the weights reflected on the importance of weighted components in a system. The reliabilities and the weights of the weighted components in a fuzzy system are represented by triangular fuzzy numbers. The proposed method uses the fuzzy arithmetic operations of the triangular fuzzy numbers and considers the weights of the weighted components in a fuzzy system, therefore, its execution is faster and more flexible than the conventional methods.

키워드 : Fuzzy System Reliability Analysis, Weighted Components, Fuzzy Numbers, 퍼지시스템 신뢰도분석, 가중 구성요소, 퍼지숫자

1. 서 론

기술적인 시스템의 설계와 개발에 있어서 중요한 공학적인 작업 중에 한 가지가 신뢰도 공학이다. 우주탐사, 군사적인 응용, 전력분배와 같은 신뢰도가 필요한 대규모 시스템의 설계와 개발에서 신뢰도에 관한 많은 연구가 있었다. 이러한 연구에 기반이 되는 신뢰도이론(reliability theory)에서 시스템의 동작이 다음과 같은 두 가지의 기본적인

인 가정에 기반을 두고 있다는 것은 잘 알려져 있다[1, 2]:

- (A) 이진상태가정(binary state assumption): 시스템은 단지 두 가지의 크리스프 상태를 나타낸다. 즉, 완전하게 동작하거나 동작하지 않는다. 어느 때이든지 시스템은 이 두 가지 상태 중 한 상태가 된다.
- (B) 확률가정(probability assumption): 시스템의 동작은 확률적으로도 완전하게 특징을 기술할 수 있다.

* 종신회원 : 청운대학교 인터넷학과 교수
sycho@chungwoon.ac.kr

[2006/09/06 투고 - 2006/09/25 심사 - 2006/12/04 심사완료]

☆ 본 연구는 청운대학교 교내연구비를 지원받았음

그러나 자료의 불확실성과 부정확성 때문에 확

률의 정확한 값을 추정하는 일이 많은 시스템에서 매우 어렵다. 정보가 불완전하거나 획득하지 못하는 이러한 문제점을 해결하는 방법으로 시스템의 신뢰도를 분석하기 위해 퍼지 집합이론을 이용하여 신뢰도를 분석하는 연구가 많이 발표되고 있다[3-11].

[3]에서 Cai는 기존의 신뢰도이론의 문제점을 해결하기 위해 퍼지 이론에 기반을 둔 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 것으로 생각할 수 있다.
- (B') 가능성가정(possibility assumption): 시스템의 동작은 가능성척도로 완전하게 기술할 수 있다.

[4]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. [5]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. [6]에서 Chen은 [4]와 [5]에서 사용하는 퍼지숫자의 구간산술연산에 많은 계산시간을 걸린다는 점을 지적하고 이 문제를 해결하기 위해 삼각퍼지숫자의 단순화된 구조의 장점을 이용하여 더 빠른 퍼지산술연산이 가능한 방법을 제안하였다. [7]에서 Mon 등은 시스템내의 각각의 구성요소에게 적합한 신뢰도를 부여하기 위해 서로 다른 소속함수-

정규형(normal type), 삼각형(triangular type), 사각형(rectangular type), 감마형(shape gamma type)-를 갖는 구성요소에 대하여 비선형 프로그래밍 방법을 적용하여 퍼지 시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. [8]에서 Utkin 등은 가능성을 이용하여 다양한 시스템의 퍼지 신뢰도 분석을 위해 연립함수 방정식(system of functional equations)을 사용하는 방법을 제안하였다. [9]에서 Cai는 시스템실패공학을 소개하고 퍼지방법론의 사용법을 제안하였다. [10]에서 Chen은 시스템의 구성요소에 대한 신뢰도를 모호집합(vague set)으로 표현하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. [11]에서 Wu는 퍼지환경에서 베이저언 신뢰도 평가를 하기위해 기존의 베이저언 추정방법(estimation)을 퍼지집합 이론의 분해원리(resolution identity)를 이용하여 신뢰도의 퍼지 베이저언 점 추정자를 생성하여 사용하는 방법을 제안하였다. [14]에서 Guo는 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하기 위해 구간값 퍼지집합을 이용하는 방법을 제안하였다. [15]에서 Pai는 신뢰도를 예측하기 위해 학습기능을 가지는 퍼지시스템을 이용하여 보다 높은 신뢰도를 예측하는 방법을 제안하였다. [16]에서 kumar는 구간값 퍼지집합과 모호집합을 융합한 구간값 모호집합을 이용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 여기에서 집합내 원소의 소속값과 비소속값은 한 개의 실수가 아닌 구간을 표현한다.

[4, 5, 10, 14, 16]에서 제안한 방법은 퍼지숫자의 구간산술연산에 기반을 두고 있으므로

[6]에서 지적한 문제점을 가지고 있고, [7]에서 처럼 각각의 구성요소에 적합한 퍼지숫자를 따로 사용하는 방법도 유연성은 좋으나 역시 같은 문제를 가지고 있다. 그리고 [6]에서 제안한 방법은 퍼지시스템의 신뢰도 평가를 위한 빠른 연산은 가능하나 유연성이 부족하다. 본 논문에서는 기존 연구결과를 활용하기 위해 구성요소의 신뢰도를 삼각퍼지숫자로 표현하여 빠른 연산이 가능하게 하고, 시스템을 구성하는 구성요소의 중요도에 따

라 가중값을 삼각퍼지숫자로 표현한 가중 구성요소를 갖는 퍼지시스템을 제안한다. 그러므로 삼각퍼지숫자의 퍼지산술연산을 사용하기 때문에 기존의 방법보다 빠른 실행이 가능하고, 가중 구성요소가 가지는 중요도를 반영하는 가중값을 고려하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하기 때문에 기존의 방법보다는 유연한 신뢰도 평가가 가능해진다. 이러한 평가방법은 퍼지기법을 활용한 웹 크롤러(web crawler)와 같은 시스템의 신뢰도 등을 평가하는 데 응용할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 사용하는 삼각퍼지숫자에 대하여 간단히 소개한다. 3장에서는 가중값을 고려하는 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안한다. 4장에서는 예를 보인다. 그리고 5장에서는 결론을 기술한다.

2. 퍼지숫자

[12]에서 Zadeh는 퍼지집합 이론을 제안하였다. 퍼지집합은 퍼지경계의 한 종류로 볼 수 있다. 전체집합(universe of discourse) $U, U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 에 있는 퍼지집합 \tilde{A} 는 소속함수 $\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{A}}:U \rightarrow [0,1]$ 에 의해 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\tilde{A} = \mu_{\tilde{A}}(u_1)/u_1 + \mu_{\tilde{A}}(u_2)/u_2 + \dots + \mu_{\tilde{A}}(u_n)/u_n \quad (1)$$

여기에서 $\mu_{\tilde{A}}(u_i)$ 는 퍼지집합 \tilde{A} 에 u_i 의 소속정도를 가리킨다. 만일 $\exists u_i \in U, \mu_{\tilde{A}}(u_i)=1$ 이면 퍼지집합 \tilde{A} 는 정상(normal)이다. 전체집합 U 에 있는 모든 u_1, u_2 에 대해서 다음을 만족하면 퍼지집합 \tilde{A} 는 볼록(convex)이다.

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \text{Min}(\mu_{\tilde{A}}(u_1) + \mu_{\tilde{A}}(u_2)) \quad (2)$$

여기에서 $\lambda \in [0,1]$. 퍼지숫자는 전체집합 U 에서 볼록하고 정상인 퍼지집합이다.

삼각퍼지숫자 \tilde{A} 는 세 쌍의 파라미터 (a_1, a_2, a_3)

로 표현할 수 있다. 삼각퍼지숫자 \tilde{A} 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\mu_{\tilde{A}}(u) = \begin{cases} 0, & u < a_1 \\ (u - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq u \leq a_2 \\ (a_3 - u)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq u \leq a_3 \\ 0, & u \geq a_3 \end{cases} \quad (3)$$

\tilde{A} 와 \tilde{B} 를 그림 1과 그림 2와 같이 세 쌍 (a_1, a_2, a_3) 와 (b_1, b_2, b_3) 로 각각 표현되는 삼각퍼지숫자라고 하자.

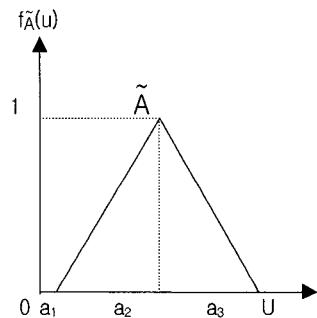


그림 1 삼각퍼지숫자 \tilde{A} 의 소속함수

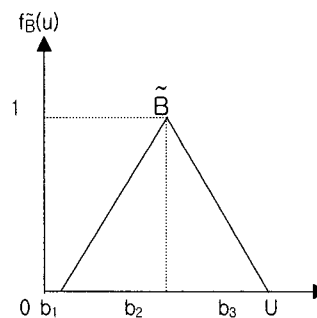


그림 2 삼각퍼지숫자 \tilde{B} 의 소속함수

삼각퍼지숫자 \tilde{A} 와 \tilde{B} 사이의 산술연산은 다음과 같이 정의된다[2, 13].

$$\text{삼각퍼지숫자 더하기 } \oplus: \tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus$$

$$(b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3).$$

삼각퍼지숫자 빼기 \ominus : $\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3).$

$$1 \ominus \tilde{B} = (1, 1, 1) \ominus$$

$$(b_1, b_2, b_3) = (1 - b_1, 1 - b_2, 1 - b_3).$$

삼각퍼지숫자 곱하기 \otimes : $\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3).$

삼각퍼지숫자 나누기 \oslash : $\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oslash (b_1, b_2, b_3) = (a_1/b_1, a_2/b_2, a_3/b_3).$

전체집합 U에서 퍼지집합 \tilde{A} 의 α -cut A_α 는 다음과 같이 정의된다.

$$A_\alpha = \{u_i \mid \mu_{\tilde{A}}(u_i) \geq \alpha, u_i \in U\}$$

여기에서 $\alpha \in [0, 1]$. 삼각퍼지숫자 \tilde{A} 와 \tilde{B} 는 수 준집합(level set; i.e., α -cut)으로 각각 나눌 수가 있다.

$$\tilde{A} = \int_0^1 \alpha A_\alpha,$$

$$\tilde{B} = \int_0^1 \alpha B_\alpha$$

여기에서 $A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]$, $B_\alpha = [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}]$, $\alpha \in [0, 1]$. 따라서 삼각퍼지숫자 \tilde{A} 와 \tilde{B} 의 OR 연산은 $\tilde{A} \oslash \tilde{B}$ 로 표기하고, 다음과 같은 전체집합내의 식으로 기술할 수 있다.

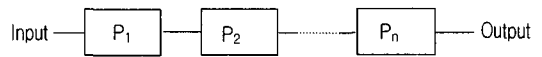
$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \int_0^1 \alpha [a_1^{(\alpha)} \vee b_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} \vee b_2^{(\alpha)}],$$

여기에서 \oslash 는 최대값 연산자이다.

3. 퍼지시스템의 신뢰도 분석

퍼지시스템의 신뢰도를 분석하기 위해 시스템의 구성요소가 전체 시스템에서 가지는 중요도에 따라 가중값을 부여할 수 있다. 이절에서는 이러

한 가중 구성요소를 갖는 퍼지시스템의 신뢰도를 삼각퍼지숫자를 이용하여 분석하는 방법을 기술한다. 순차시스템은 그림 3과 같이 생각할 수가 있다[4-6]. 여기에서 하위시스템 P_i 의 신뢰도와 가중값을 삼각퍼지숫자 \tilde{R}_i , $\tilde{R}_i = (m_i - \alpha_i, m_i, m_i + \beta_i)$, $1 \leq i \leq n$ 과 \tilde{W}_i , $\tilde{W}_i = (w_i - \gamma_i, w_i, w_i + \delta_i)$, $1 \leq i \leq n$ 로 각각 표기할 수 있다. 그림 4와 5은 각각 삼각퍼지숫자 \tilde{R}_i 와 \tilde{W}_i 를 보여주는 소속함수이다.



(그림 3) 순차시스템의 구성

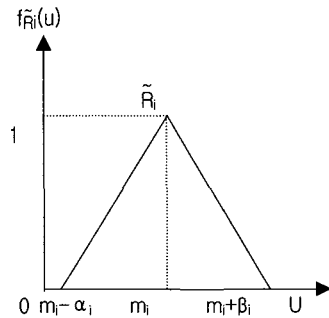


그림 4 삼각퍼지숫자 \tilde{R}_i 의 소속함수

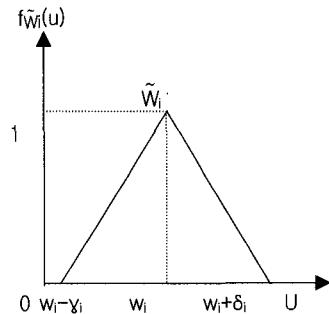
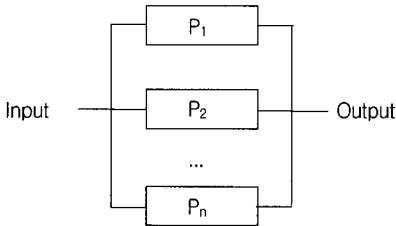


그림 5 삼각퍼지숫자 \tilde{W}_i 의 소속함수

그림 3과 같은 순차시스템의 신뢰도 \tilde{P} 는 구성요소의 신뢰도와 가중값을 고려하여 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \tilde{P} &= \prod_{i=1}^n (\tilde{R}_i \otimes \tilde{W}_i) \\
 &= \tilde{R}_1 \otimes \tilde{W}_1 \otimes \tilde{R}_2 \otimes \tilde{W}_2 \otimes \cdots \otimes \tilde{R}_n \otimes \tilde{W}_n \\
 &= (m_1 - \alpha_1, m_1, m_1 + \beta_1) \otimes (w_1 - \gamma_1, w_1, w_1 + \delta_1) \\
 &\quad \otimes (m_2 - \alpha_2, m_2, m_2 + \beta_2) \otimes (w_2 - \gamma_2, w_2, w_2 + \delta_2) \\
 &\quad \otimes \cdots \otimes (m_n - \alpha_n, m_n, m_n + \beta_n) \otimes (w_n - \gamma_n, w_n, \\
 &\quad w_n + \delta_n) \\
 &= ((m_1 - \alpha_1)(w_1 - \gamma_1), m_1 w_1, (m_1 + \beta_1)(w_1 + \delta_1)) \\
 &\quad \otimes ((m_2 - \alpha_2)(w_2 - \gamma_2), m_2 w_2, (m_2 + \beta_2)(w_2 + \delta_2)) \\
 &\quad \otimes \cdots \otimes ((m_n - \alpha_n)(w_n - \gamma_n), m_n w_n, (m_n + \beta_n)(w_n + \\
 &\quad \delta_n)) \\
 &= \left(\prod_{i=1}^n ((m_i - \alpha_i)(w_i - \gamma_i)), \prod_{i=1}^n m_i w_i, \prod_{i=1}^n ((m_i + \beta_i) \right. \\
 &\quad \left. (w_i + \delta_i)) \right) \tag{4}
 \end{aligned}$$

병렬시스템은 그림 6과 같이 생각할 수 있다 [4-6]. 여기에서 하위시스템 P_i 의 신뢰도와 가중값은 삼각퍼지숫자 \tilde{R}_i , $\tilde{R}_i = (m_i - \alpha_i, m_i, m_i + \beta_i)$, $1 \leq i \leq n$ 과 \tilde{W}_i , $\tilde{W}_i = (w_i - \gamma_i, w_i, w_i + \delta_i)$, $1 \leq i \leq n$ 로 각각 표기할 수 있다.



[그림 6] 병렬시스템의 구성

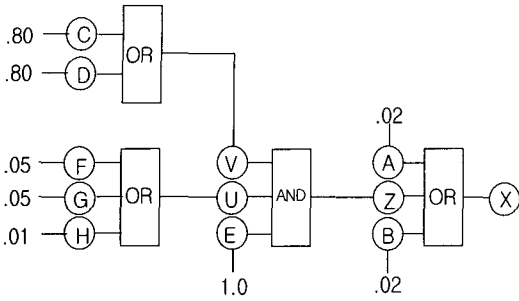
그림 6과 같은 병렬시스템의 신뢰도 \tilde{P} 는 구성 요소의 신뢰도와 가중값을 고려하여 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \tilde{P} &= 1 \otimes \prod_{i=1}^n (1 \otimes \tilde{R}_i \otimes \tilde{W}_i) \\
 &= 1 \otimes \prod_{i=1}^n (1 \otimes (m_i - \alpha_i, m_i, m_i + \beta_i) \otimes (w_i - \gamma_i, w_i,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &w_i + \delta_i)) \\
 &= 1 \otimes \prod_{i=1}^n ((1, 1, 1) \otimes ((m_i - \alpha_i)(w_i - \gamma_i), m_i w_i, (m_i + \\
 &\quad \beta_i)(w_i + \delta_i))) \\
 &= 1 \otimes (1 - (m_1 + \beta_1)(w_1 + \delta_1), 1 - m_1 w_1, 1 - (m_1 - \alpha_1) \\
 &\quad (w_1 - \gamma_1)) \\
 &\quad \otimes (1 - (m_2 + \beta_2)(w_2 + \delta_2), 1 - m_2 w_2, 1 - (m_2 - \alpha_2)(w_2 - \\
 &\quad \gamma_2)) \\
 &\quad \otimes \cdots \otimes (1 - (m_n + \beta_n)(w_n + \delta_n), 1 - m_n w_n, 1 - (m_n - \alpha_n) \\
 &\quad (w_n - \gamma_n)) \\
 &= 1 \otimes \left(\prod_{i=1}^n (1 - (m_i + \beta_i)(w_i + \delta_i)), \prod_{i=1}^n (1 - m_i w_i), \prod_{i=1}^n \right. \\
 &\quad \left. (1 - (m_i - \alpha_i)(w_i - \gamma_i)) \right) \\
 &= (1, 1, 1) \otimes \left(\prod_{i=1}^n (1 - (m_i + \beta_i)(w_i + \delta_i)), \prod_{i=1}^n \right. \\
 &\quad \left. (1 - m_i w_i), \prod_{i=1}^n (1 - (m_i - \alpha_i)(w_i - \gamma_i)) \right) \\
 &= (1 - \prod_{i=1}^n (1 - (m_i - \alpha_i)(w_i - \gamma_i)), 1 - \prod_{i=1}^n (1 - m_i w_i), 1 - \prod_{i=1}^n \\
 &\quad (1 - (m_i + \beta_i)(w_i + \delta_i))) \tag{5}
 \end{aligned}$$

4. 예([4-6]의 예를 기반으로)

두 대의 연마기계가 서로 인접하여 동작하고 있다고 가정하자. 이 기계들의 근처에 다가온 사람이 연마기계에서 나온 부스러기가 눈으로 들어가 다칠 수 있는 가능성은 얼마인가? 이런 사항에서 가장 위험한 사람은 기계를 직접 조작하는 조직원이고 조직원들은 보안경을 착용할 의무가 있으나 종종 보안경을 착용하지 않는다. 그리고 연마기계 주위로 재료로 사용할 물건들을 가져오는 사람들과 연마기계에서 만들어진 생산품을 가져가는 사람들 그리고 다른 여러 가지 이유로 연마기계 근처에 다가오는 사람들도 위험하다. 누군가가 다칠 수 있는 주요사건에 대한 결함나무는 그림 7과 같이 만들 수가 있다.



(그림 7) 예에 대한 결함나무

사고가 날 수 있는 기본적인 사건들은 표 1에 정리되어 있다(자료출처[4, 5]). 기본사건들은 상호 독립적이고 기본사건의 신뢰도와 가중값은 각각 삼각퍼지숫자 $\tilde{R}_i, \tilde{R}_i=(m_i-\alpha_i, m_i, m_i+\beta_i), 1 \leq i \leq n$ 과 $\tilde{W}_i, \tilde{W}_i=(w_i-\gamma_i, w_i, w_i+\delta_i), 1 \leq i \leq n$ 로 표현할 수 있다.

표1에 의해 얻을 수 있는 퍼지시스템의 구성요소에 대한 신뢰도 \tilde{R}_i 와 가중값 \tilde{W}_i 은 다음과 같다. 그리고 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 중간과정에서 구해야하는 가중값 $\tilde{W}_U, \tilde{W}_V, \tilde{W}_Z$ 등의 가중값은 1로 가정한다.

$$\begin{aligned} \tilde{R}_A &= (0.00888, 0.02, 0.03112), \\ \tilde{R}_B &= (0.00888, 0.02, 0.03112), \\ \tilde{R}_C &= (0.75552, 0.8, 0.84448), \\ \tilde{R}_D &= (0.75552, 0.8, 0.84448), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{R}_E &= (0.94434, 1.0, 1.05566), \\ \tilde{R}_F &= (0.04722, 0.05, 0.05278), \\ \tilde{R}_G &= (0.04722, 0.05, 0.05278), \\ \tilde{R}_H &= (0.00944, 0.01, 0.01056). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{W}_A &= (0.89712, 0.95, 1.00288), \\ \tilde{W}_B &= (0.89712, 0.95, 1.00288), \\ \tilde{W}_C &= (0.8499, 0.90, 0.9501), \\ \tilde{W}_D &= (0.8499, 0.90, 0.9501), \\ \tilde{W}_E &= (0.89712, 0.95, 1.00288), \\ \tilde{W}_F &= (0.8499, 0.90, 0.9501), \\ \tilde{W}_G &= (0.8499, 0.90, 0.9501), \\ \tilde{W}_H &= (0.75547, 0.80, 0.84453). \end{aligned}$$

사건 X에 대한 진리값 함수는 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$\begin{aligned} U &= F+G+H, \\ V &= C+D, \\ Z &= E \times U \times V, \\ X &= A+B+Z. \end{aligned}$$

그래서 앞에서 유도한 식에 의해 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

[표 1] 사고에 영향을 주는 기본사건들의 신뢰도와 가중값

기호	기본사건	m_i	α_i, β_i	w_i	γ_i, δ_i
A	조작원1이 보안경을 미착용	0.02	0.01112	0.95	0.05288
B	조작원2가 보안경을 미착용	0.02	0.01112	0.95	0.05288
C	기계1이 동작 중	0.8	0.0448	0.90	0.0501
D	기계2가 동작 중	0.8	0.0448	0.90	0.0501
E	보안경 없이 들어온 사람	1.0	0.05566	0.95	0.05288
F	재료를 가져오는 사람	0.05	0.00278	0.90	0.0501
G	생산품을 가져가는 사람	0.05	0.00278	0.90	0.0501
H	다른 이유로 들어오는 사람	0.01	0.00056	0.80	0.04453

$$\begin{aligned} \tilde{R}_U &= 1 \ominus (1 \ominus (\tilde{R}_F \otimes \tilde{W}_F)) \otimes (1 \ominus (\tilde{R}_G \otimes \tilde{W}_G)) \otimes (1 \ominus (\tilde{R}_H \otimes \tilde{W}_H)) \\ &= 1 \ominus (1 \ominus (0.04722, 0.05, 0.05278) \otimes (0.8499, 0.90, 0.9501)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.04722, 0.05, 0.05278) \otimes (0.8499, 0.90, 0.9501)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.00944, 0.01, 0.01056) \otimes (0.75547, 0.80, 0.84453)) \\ &= 1 \ominus (1 \ominus (0.04013, 0.045, 0.05015)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.04013, 0.045, 0.05015)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.00713, 0.008, 0.00892)) \\ &= 1 \ominus (0.94985, 0.955, 0.95987)) \\ &\quad \otimes (0.94985, 0.955, 0.95987)) \\ &\quad \otimes (0.99108, 0.992, 0.99287)) \\ &= 1 \ominus (0.89417, 0.90473, 0.91478) \\ &= (0.08522, 0.09527, 0.10583) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{R}_V &= 1 \ominus (1 \ominus (\tilde{R}_C \otimes \tilde{W}_C)) \otimes (1 \ominus (\tilde{R}_D \otimes \tilde{W}_D)) \\ &= 1 \ominus (1 \ominus (0.75552, 0.8, 0.84448) \otimes (0.8499, 0.90, 0.9501)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.75552, 0.8, 0.84448) \otimes (0.8499, 0.90, 0.9501)) \\ &= 1 \ominus (1 \ominus (0.64212, 0.72, 0.80234)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.64212, 0.72, 0.80234)) \\ &= 1 \ominus (0.19766, 0.28, 0.35788) \otimes (0.19766, 0.28, 0.35788) \\ &= 1 \ominus (0.03907, 0.0784, 0.12808) \\ &= (0.87192, 0.9216, 0.96093) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{R}_Z &= \tilde{R}_E \otimes \tilde{W}_E \otimes \tilde{R}_U \otimes \tilde{W}_U \otimes \tilde{R}_V \otimes \tilde{W}_V \\ &= (0.94434, 1.0, 1.05566) \otimes (0.89712, 0.95, 1.00288) \\ &\quad \otimes (0.08522, 0.09527, 0.10583) \otimes (1, 1, 1) \\ &\quad \otimes (0.87192, 0.9216, 0.96093) \otimes (1, 1, 1) \\ &= (0.84719, 0.95, 1.058709) \\ &\quad \otimes (0.08522, 0.09527, 0.10583) \\ &\quad \otimes (0.87192, 0.9216, 0.96093) \\ &= (0.06295, 0.08341, 0.10767) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{R}_X &= 1 \ominus (1 \ominus (\tilde{R}_A \otimes \tilde{W}_A)) \otimes (1 \ominus (\tilde{R}_B \otimes \tilde{W}_B)) \otimes (1 \ominus (\tilde{R}_Z \otimes \tilde{W}_Z)) \\ &= 1 \ominus (1 \ominus (0.00888, 0.02, 0.03112) \otimes (0.89712, 0.95, 1.00288)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.00888, 0.02, 0.03112) \otimes (0.89712, 0.95, 1.00288)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.06295, 0.08341, 0.10767) \otimes (1, 1, 1)) \\ &= 1 \ominus (1 \ominus (0.00797, 0.019, 0.03121)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.00797, 0.019, 0.03121)) \\ &\quad \otimes (1 \ominus (0.06295, 0.08341, 0.10767)) \\ &= 1 \ominus (0.96879, 0.981, 0.99203) \\ &\quad \otimes (0.96879, 0.981, 0.99203) \\ &\quad \otimes (0.89233, 0.91659, 0.93705) \\ &= 1 \ominus (0.8375, 0.88209, 0.92217) \\ &= (0.07783, 0.11791, 0.1625) \end{aligned}$$

이상의 결과는 [4-6] 등의 연구에서 보여준 결과와 매우 유사한 결과를 보여준다.

그러나 L-R 퍼지숫자[4]나 신용구간[5]을 사용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 연구는 [6]에서 지적한 것과 같이 퍼지숫자의 구간산술연산에 많은 시간이 걸린다는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 [6]에서 제안한 삼각퍼지숫자를 사용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 빠르게 평가하는 방법을 사용한다. 또한 퍼지시스템의 각각의 구성요소에 적합한 신뢰도를 부여하기 위해 각각 구성요소마다 신뢰도를 정규형(normal type), 삼각형(triangular type), 사각형(rectangular type), 감마형(shape gamma type) 등의 퍼지숫자[7], 모호집합[10], 구간값 퍼지집합[14] 또는 구간값 모호집합[16]을 사용하여 신뢰도를 평가하는 방법은 삼각퍼지숫자만을 사용하는 방법보다는 구성요소에 신뢰도를 유연하게 부여하는 방법이지만은 [6]에서 지적한 문제점을 극복하지는 못한다. 기존 연구의 이러한 문제를 보완하기 위해 본 논문에서는 [6]과 [7, 10]의 연구결과를 모두 활용하는 방법을 사용하였다. 퍼지시스템내의 각 구성요소의 신뢰도를 삼각퍼지숫자로 표현하고 퍼지 시스템 내에서 각각의 구성요소가 가

지는 중요도(importance)에 따라 구성요소에 가중값을 삼각퍼지숫자로 부여하는 방법을 사용하였다. 그러므로 본 연구에서는 구성요소의 신뢰도를 삼각퍼지숫자로 표현하고, 구성요소의 중요도를 삼각퍼지숫자로 가중값으로 표현하므로 [6]과 같은 빠른 신뢰도의 평가가 가능하고 신뢰도가 삼각퍼지숫자로 표현되었을 때 결여될 수 있는, 적합한 신뢰도를 부여하는 문제는 가중값에 반영하여 처리함으로써 유연한 신뢰도의 평가가 가능하다.

5. 결론

본 논문에서 우리는 퍼지시스템 구성요소의 중요도에 따라 가중값을 부여하여 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 여기에서 각 퍼지시스템의 구성요소의 신뢰도와 가중값은 삼각퍼지숫자로 표현한다. 제안한 방법은 기존의 연구와는 달리 복잡한 연산을 하지 않고 삼각퍼지숫자의 퍼지산술연산을 사용하기 때문에 간단하고 빠른 신뢰도의 평가가 가능하고, 구성요소의 중요도를 반영하는 가중값을 사용하기 때문에 기존의 연구보다 더 유연하게 퍼지시스템의 신뢰도 평가가 가능하다. 그리고 이러한 평가방법은 퍼지 기법을 활용한 웹 크롤러(web crawler)와 같은 시스템의 신뢰도 등을 평가하는 데 응용할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 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, pp145-172, 1991.
- [2] Kaufmann, A., and Gupta, M. M., "Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science," North-Holland, Amsterdam, 1988.
- [3] Cai, K. Y., Wen, C. Y., and Zhang, M. L., "Possibility Reliability Behavior of Typical Systems With Two Types of Failure." *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 43, pp17-32, 1991.
- [4] Singer, D., "A Fuzzy Set Approach To Fault Tree and Reliability Analysis," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 34, pp145-155, 1990.
- [5] Cheng, C. H., and Mon, D. L., "Fuzzy System Reliability Analysis by Interval of Confidence," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 56, pp29-35, 1993.
- [6] Chen, Shyi-Ming, "Fuzzy System Reliability Analysis Using Fuzzy Number Arithmetic Operations, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 64, pp31-38, 1994.
- [7] Mon, D. L., and Cheng, C. H., "Fuzzy System Reliability Analysis for Components With Different Membership Functions," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 64, pp147-157, 1994.
- [8] 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, pp203-213, 1996.
- [9] Cai, K. Y., "Systems Failure Engineering and Fuzzy Methodology: An Introductory Overview," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 83, pp113-133, 1996.
- [10] Chen, Shyi-Ming, "Analysis Fuzzy System Reliability Using Vague Set Theory," *Int'l J. of Applied Science and Engineering*, Vol. 1, pp82-88, 2003.
- [11] Wu, H. C., "Fuzzy Reliability Estimation Using Bayesian Approach," *Computers and Industrial Engineering* 46, pp467-493, 2004.
- [12] Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets," *Information and Control* 8, pp.338-353, 1965.
- [13] Zimmerman, H. J., "Fuzzy Set Theory and Its Applications," Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 1991.
- [14] Guo, R., "Interval-valued Fuzzy Set Modeling

of System Reliability," Advanced Reliability Modeling. In Proceedings of the 2004 Asian International Workshop (AIWARM 2004), Edited by Dohi, T. Yun, W. Y., pp157-164, 2004.

- [15] Pai, P., and Lin, K., "Application of Hybrid Learning Neural Fuzzy Systems in Reliability Prediction," Quality and Reliability Engineering, Vol. 22, No. 2, pp199-211, 2005.

- [16] Kumar, A., Yadav, S. P., and Kumar, S., "Fuzzy Reliability of a Marine Power Plant Using Interval Valued Vague Sets," int'l j. Appl. Sci. Eng., Vol. 4, No. 1, pp71-82, 2006.

◎ 저 자 소 개 ◎



조 상 엽(Sang-Yeop Cho)

1986년 한남대학교 전자계산학과(공학사)

1988년 중앙대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)

1993년 중앙대학교 대학원 전자계산학과(공학박사)

1995~현재 청운대학교 인터넷학과 교수

관심분야 : 인공지능, 퍼지이론, 페트리넷 응용

E-mail : sycho@chungwoon.ac.kr