



Reliability Analysis of Fuzzy Systems Based on Pythagorean Fuzzy Sets

Sang Yeop Cho*

Department of Computer Engineering, Chungwoon University

ABSTRACT

Reliability models play an important role when we design the engineering systems. In conventional reliability model we attempts to describe the values for the reliability of the systems with accurateness. But in real world it is often difficult to get the these exact values. To overcome these problem the fuzzy set theory is used in the reliability model for engineering systems. In the fuzzy sets, the reliability is represented by a real number as the degree of membership $\mu_A(x)$ of the fuzzy set. $\mu_A(x) \in [0, 1]$. In the interval valued fuzzy sets, the reliability is described by an interval $[\mu_{A^l}(x), \mu_{A^v}(x)]$ as the degree of membership of the interval valued fuzzy sets. $0 \leq \mu_{A^l}(x) \leq \mu_{A^v}(x) \leq 1$, $[\mu_{A^l}(x), \mu_{A^v}(x)] \subseteq [0, 1]$. In the intuitionistic fuzzy sets to express the belief in a belief systems, the reliability is represented by the degree of true membership $\mu_A(x)$ and degree of falsity membership $v_A(x)$. $\mu_A(x), v_A(x) \in [0, 1]$, $0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1$. In the neutrotrophic sets that can represent indeterminacy the reliability is represented as a true membership value $T_A(x)$, an indeterminacy membership value $I_A(x)$, and a false membership value $F_A(x)$. In the multicriteria decision making, the decision maker may or may not provide a degree of x_i satisfying the criteria C_j . In this case, the preference $\mu_{C_j}(x_i)$ for x_i can be $0 \leq \mu_{C_j}(x_i) \not\leq 1$, which is difficult to process with the conventional fuzzy sets. In this paper, we propose a method to evaluate the reliability of decision making system using Pythagorean fuzzy sets which can be used to solve this problem.

© 2019 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Fuzzy system reliability analysis, Reliability engineering, Fuzzy systems, Fuzzy sets, Pythagorean fuzzy sets

ARTICLE INFO: Received 31 May 2019, Revised 9 August 2019, Accepted 9 August 2019.

*Corresponding author is with the Department of Internet,
Chungwoon University, 113 Sukgol-ro Nam-gu Incheon,

22100, KOREA.
E-mail addresses: sycho@chungwoon.ac.kr

1. 서론

공학 시스템을 설계 및 구현을 할 때 항상 고려해야하는 사항 중에 한 가지가 공학 시스템의 작업 신뢰도 모형이다 [1]. 공학 시스템을 실세계에서 운영을 할 경우에 시스템을 조작하는 사람에 의한 오류, 시스템에 입력되는 자료의 불확실성, 다른 원인에 의한 시스템의 오동작 등에 의해 시스템이 출력한 결과를 정확하게 평가하거나 또는 분석하는 일이 어려워지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Singer [2]는 Zadeh [3]가 제안한 퍼지집합을 시스템의 신뢰도 평가에 적용한 연구를 하였다. 퍼지집합을 시스템의 신뢰도를 평가하는데 적용한 이후 다양한 퍼지집합을 신뢰도 평가에 적용하는 연구들이 발표되었다.

Zadeh가 제안한 퍼지집합은 소속정도(degree of membership)를 소속함수(membership function) $\mu_A(x)$ 로 표현한다 [3]. $\mu_A(x) \in [0, 1]$. Turksen이 제안한 구간값 퍼지집합(interval valued fuzzy set)은 소속정도를 구간 $[\mu_{A^l}(x), \mu_{A^u}(x)]$ 으로 표현한다 [4]. 여기에서 $\mu_{A^l}(x)$ 와 $\mu_{A^u}(x)$ 은 각각 구간의 최소 소속정도와 구간의 최대 소속정도이다. $0 \leq \mu_{A^l}(x) \leq \mu_{A^u}(x) \leq 1$, $[\mu_{A^l}(x), \mu_{A^u}(x)] \subseteq [0, 1]$. Atanassov가 제안한 직관 퍼지집합(intuitionistic fuzzy set)에서 소속정도는 믿음시스템(belief system)에서 증거를(evidence)을 지지하는 참 소속함수(truth membership function) $\mu_A(x)$ 와 거짓 소속함수(falsity membership function) $\nu_A(x)$ 로 표현하여 불확실한 정보를 다루는 방법을 보여주고 있다 [5]. $\mu_A(x), \nu_A(x) \in [0, 1]$, $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$. 증거에 대한 불확정(indeterminacy)의 기본값은 $1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$ 이다. Gau 등은 소속정도를 구간으로 표현하는 모호 집합(vague set)을 제안하였다 [6]. Bustince 등은

Gau 등이 제안한 모호집합과 Atanassov가 제안한 직관 퍼지집합과는 수학적으로 동치라는 것이 밝혀졌다 [7]. Smarandache가 제안한 뉴트로소픽 집합(neutrosophic set)은 참 소속함수 $T_A(x)$, 불확정 소속함수(indeterminacy-membership function) $I_A(x)$ 그리고 거짓 소속함수 $F_A(x)$ 가 각각 독립적으로 존재하여 불확정성을 명시적으로 정량화할 수가 있다 [8].

다기준 의사결정(multicriteria decision making: MCDM)에서 기준 C_j 에 대한 선택 x_i 의 소속정도에 대한 선호도를 $\mu_{C_j}(x_i)$ 로 표현한다. MCDM를 실제로 하는 과정에서 의사결정권자들은 기준 C_j 를 만족하는 x_i 의 정도를 제공하기도 하고 또한 기준 C_j 를 만족하지 않는 x_i 의 정도를 제공하기도 한다. 예를 들어 기준 C_j 를 만족하는 선택 x_i 의 정도를 $\sqrt{3}/2$ 로 주고 기준 C_j 를 만족하지 않는 선택 x_i 의 정도를 $1/2$ 로 주면 $0 \leq \sqrt{3}/2 + 1/2 \leq 1$ 이 되므로 이러한 상황을 퍼지집합, 구간값 퍼지집합, 직관 퍼지집합 등으로 표현하기 어렵게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Yager가 제안한 퍼지집합이 피타고라스 퍼지집합이다 [9-11].

본 논문에서는 MCDM에서 의사결정권자가 제공하는 선호도 $\mu_{C_j}(x_i)$ 가 기존의 퍼지집합 등으로 처리가 어려운 경우에 사용할 수 있는 피타고라스 퍼지집합을 이용하여 의사결정 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 관련연구를 기술한다. 제 3 장에서는 피타고라스 퍼지 집합에 대하여 간략하게 알아본다. 제 4 장에서는 피타고라스 퍼지집합을 이용한 시스템의 신뢰도를 계산하는 방법을 제안한다. 마지막으로 제 5 장에서는 결론을 기술한다.

2. 관련연구

이 장에서는 시스템 신뢰도를 퍼지집합 등을 이용하여 평가하는 방법을 제안한 연구를 간단하게 소개한다 [2].

Singer 은 퍼지집합을 신뢰도 계산에 처음 적용하였다. 즉, L-R 퍼지 숫자를 이용하여 결함 트리(fault tree)의 사건 빈도수를 표현하고 이를 시스템 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하였다 [2]. Chen 은 신뢰도를 삼각 퍼지숫자로 표현하여 L-R 퍼지 숫자를 사용한 경우보다 신뢰도를 빠르게 계산하는 방법을 제안하였다 [12]. Kumar 등은 해양발전 플랜트의 신뢰도를 평가하기 위해 구간값 모호집합을 이용하는 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하였다 [13]. Wei 등은 구간값 사다리꼴 퍼지숫자의 무게중심과 기하거리를 반영하여 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하였다 [14]. Cho 는 시스템의 구성 요소의 신뢰도와 구성요소의 중요도를 표현한 가중치를 구간값 모호집합으로 표현하여 시스템의 가중 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다 [15]. Fuh 등은 구간값 퍼지숫자의 최소 소속정도 $\mu_{A^L}(x)$ 의 크기를 λ 로 조정하는 것이 가능한 수준 $(\lambda, 1)$ 구간값 퍼지 숫자를 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다 [16]. Komal 등은 LNG 수송선의 이중 연료 스팀 터빈 추진시스템의 신뢰도를 분석하는 데 삼각 퍼지숫자를 이용하였다 [17]. Cho는 불확정성을 정량적으로 표현할 수 있는 단일값 뉴트로소픽 집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다 [18]. Sharma는 에어컨디셔닝 시스템의 신뢰도를 분석하는 데 삼각 퍼지숫자와 사다리꼴 퍼지숫자를 이용하여 방법을 제안하였다 [19]. Cho은 시스템의 구성요소에 대한 신뢰도를 구간값 퍼지 집합, 구간값 퍼지집합의 폭을 반영하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다 [20].

3. 피타고라스 퍼지집합

이 장에서는 피타고라스 퍼지집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다.

피타고라스 퍼지집합: 공집합이 아닌 집합 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 를 전체집합(universe of discourse)이라고 하자. X에서의 피타고라스 퍼지집합(Pythagorean fuzzy set: PFS) A는 다음과 같이 정의한다:

$$A = \{\langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X\} \quad (1)$$

여기에서 $\mu_A(x):X \rightarrow [0, 1]$ 와 $\nu_A(x):X \rightarrow [0, 1]$ 이고 각각 소속함수 및 비 소속정도함수이다. 그리고 소속함수의 제곱과 비 소속함수의 제곱의 합은 다음 식 (2)을 만족한다.

$$0 \leq \mu_A^2(x) + \nu_A^2(x) \leq 1. \quad (2)$$

X에서 정의되는 불확정 정도(degree of indeterminacy)는 $\pi_A(x)$ 로 표기한다. 그리고 이 값은 다음과 같은 식으로 판단할 수 있다.

$$\pi_A(x) = \sqrt{1 - \mu_A^2(x) - \nu_A^2(x)} \quad (3)$$

여기에서 $\pi_A(x) \in [0, 1]$.

기존이 퍼지집합에서는 소속정도 $\mu_A(x)$ 와 비소속정도 $\nu_A(x)$ 에 대한 값을 0과 1 사이에 값을 가지도록 의사결정권자가 제공하게 된다. 이러한 경우 $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ 인 상황이 발생할 수가 있으므로 MCDM 과정을 진행하는 것이 어렵게 된다.

피타고라스 퍼지집합에서는 식 (2)와 같이 소속 정도 $\mu_A(x)$ 와 비소속정도 $\nu_A(x)$ 에 대한 각각의

제곱의 합이 0과 1사이에 값을 가지도록 정의가 된다. 그러므로 MCDM 과정을 진행하는 것이 가능하게 된다.

예: 기준 C_j 를 만족하는 선택 x_i 의 정도를 $\sqrt{3}/2$ 로 주고, 기준 C_j 를 만족하지 않는 선택 x_i 의 정도를 $1/2$ 로 주면 $0 \leq \sqrt{3}/2 + 1/2 \leq 1$ 이 되므로 퍼지집합과 AIFS에서는 MCDM 과정을 진행하기 어렵게 된다. 그러나 피타고라스 퍼지 집합에서는 $0 \leq (\sqrt{3}/2)^2 + (1/2)^2 \leq 1$ 가 되므로 MCDM 과정을 진행할 수가 있게 된다.

4. 신뢰도 분석

이 장에서는 피타고라스 퍼지집합에 기반을 둔 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다. 전체 시스템의 신뢰도는 시스템을 구성하는 구성요소(component)의 신뢰도를 기반으로 계산할 수가 있다.

순차 시스템은 <그림 1>과 같다. 전체 순차 시스템의 신뢰도를 R 이라 하자. 그리고 P_i 는 시스템의 구성요소이며 R_i 는 구성요소 P_i 의 신뢰도라고 하자. 구성요소 P_i 의 신뢰도 R_i 를 피타고라스 퍼지 집합으로 표현하면 $R_i = \langle \mu_{A_i}(x), \nu_{A_i}(x) \rangle$ 이 된다.



그림 1 순차 시스템의 구성
Figure 1. configuration of serial systems

순차 시스템의 신뢰도 R 은 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$R = \prod_{i=1}^n R_i = (R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n)$$

$$\begin{aligned} &= \langle \mu_{A_1}(x), \nu_{A_1}(x) \rangle \cdot \langle \mu_{A_2}(x), \nu_{A_2}(x) \rangle \cdot \dots \cdot \langle \mu_{A_n}(x), \nu_{A_n}(x) \rangle \\ &= \langle \min(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots, \mu_{A_n}(x)), \max(\nu_{A_1}(x), \nu_{A_2}(x), \dots, \nu_{A_n}(x)) \rangle \\ &= \langle \min_{i=1}^n \mu_{A_i}(x), \max_{i=1}^n \nu_{A_i}(x) \rangle \quad (4) \end{aligned}$$

<그림 1>과 같은 순차시스템의 신뢰도는 소속정도 $\mu_A(x)$ 의 min 값과 비 소속정도 $\nu_A(x)$ 의 max 값을 구하는 식 (4)와 같이 유도된다.

병렬 시스템은 <그림 1>과 같다. 전체 병렬 시스템의 신뢰도를 R 이라 하자. 그리고 P_i 는 시스템의 구성요소이며 R_i 는 구성요소 P_i 의 신뢰도라고 하자. 구성요소 P_i 의 신뢰도 R_i 를 피타고라스 퍼지 집합으로 표현하면 $R_i = \langle \mu_{A_i}(x), \nu_{A_i}(x) \rangle$ 이 된다.

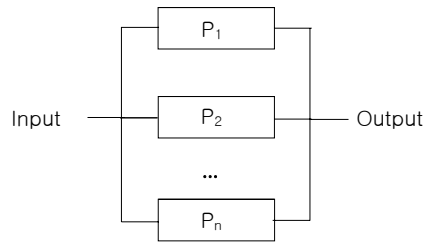


그림 2 병렬 시스템의 구성
Figure 2. configuration of parallel systems

병렬 시스템의 전체 신뢰도 R 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$\begin{aligned} R &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \\ &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \langle \mu_{A_i}(x), \nu_{A_i}(x) \rangle) \\ &= 1 - \prod_{i=1}^n \langle 1 - \mu_{A_i}(x), 1 - \nu_{A_i}(x) \rangle \\ &= 1 - [\langle 1 - \mu_{A_1}(x), 1 - \nu_{A_1}(x) \rangle \cdot \langle 1 - \mu_{A_2}(x), 1 - \nu_{A_2}(x) \rangle \cdot \dots \cdot \langle 1 - \mu_{A_n}(x), 1 - \nu_{A_n}(x) \rangle] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \nu_{A_n}(x) \rangle \\ & = 1 - \langle \min(1 - \mu_{A_1}(x), 1 - \mu_{A_2}(x), \dots, 1 - \mu_{A_n}(x)), \max(1 - \nu_{A_1}(x), 1 - \nu_{A_2}(x), \dots, 1 - \nu_{A_n}(x)) \rangle \\ & = 1 - \langle \min_{i=1}^n(1 - \mu_{A_i}(x)), \max_{i=1}^n(1 - \nu_{A_i}(x)) \rangle \\ & = \langle 1 - \min_{i=1}^n(1 - \mu_{A_i}(x)), 1 - \max_{i=1}^n(1 - \nu_{A_i}(x)) \rangle \end{aligned} \quad (5)$$

<그림 2>와 같은 병렬시스템의 신뢰도는 소속정도 $\mu_A(x)$ 의 min 값과 비 소속정도 $\nu_A(x)$ 의 max 값을 구하는 식 (5)와 같이 유도된다.

예: 피타고라스 퍼지집합을 기반으로 시스템의 신뢰도를 평가하는 과정은 Singer가 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법으로 제안한 예를 사용하여 설명을 한다 [2].

두 대의 연마기계가 서로 인접해 있는 상태로 동작하고 있다고 가정하자. 이 기계들의 근처에 다가온 사람이 연마기계에서 나온 부스러기가 눈으로 들어가 다칠 수 있는 가능성은 얼마인가? 가장 위험한 사람은 기계를 조작하는 조작용으로 조작용들은 보안경을 착용할 의무가 있으나 종종 보안경을 착용하지 않는다. 그리고 기계근처로 재료를 사용할 물건들을 가져오는 사람들과 연마기계에서 만들어진 생산품 가져가는 사람들 그리고 다른 이유로 인해 연마기계근처에 오는 사람들도 위험하다. 이러한 상황에서 누군가가 다칠 수 있는 주요 사건에 대한 결함나무는 <그림 3>과 같이 구성할 수가 있다.

<표 1>은 사고에 영향을 주는 기본 사건을 보여준다. 기호는 기본사건을 의미한다.

<그림 3>에서 보여주는 최종결과 X를 구하는 데 필요한 함수는 다음과 같다. $\mu_A(x)$ 는 기준(기본사

건)을 만족하는 소속정도이고 $\nu_A(x)$ 는 기준을 만족하지 않는 비 소속정도이다.

$$U = F + G + H,$$

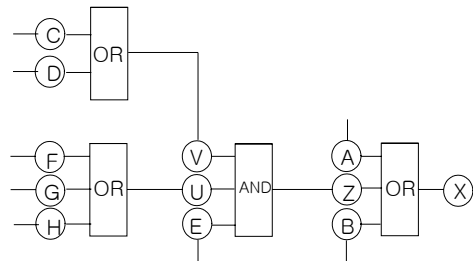


그림 3. 예에 대한 결함나무
Figure 3. fault tree for example

표 1. 사고에 영향을 주는 기본 사건들
Table 1. The basic events contributing to the accident

기호	기본사건	$\mu(x)$	$\nu(x)$
A	조작용1이 보안경을 미착용	0.95	0.01
B	조작용2가 보안경을 미착용	0.95	0.01
C	기계1이 동작 중	0.90	0.01
D	기계2가 동작 중	0.90	0.04
E	보안경 없이 들어온 사람	0.90	0.05
F	재료를 가져오는 사람	0.80	0.10
G	생산품을 가져가는 사람	0.80	0.10
H	다른 이유로 들어오는 사람	0.90	0.05

$$V = C + D,$$

$$Z = E \times U \times V,$$

$$X = A + B + Z.$$

그러므로 다음과 같이 신뢰도를 구할 수 있다.

$$R_u = 1 - ((1 - R_f) \cdot (1 - R_g) \cdot (1 - R_h))$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - ((1 - \langle 0.64, 0.01 \rangle) \cdot (1 - \langle 0.64, 0.01 \rangle) \cdot \\
 &(1 - \langle 0.81, 0.0025 \rangle)) \\
 &= 1 - (\langle 0.36, 0.99 \rangle \cdot \langle 0.36, 0.99 \rangle \cdot \langle 0.19, \\
 &0.9975 \rangle) \\
 &= 1 - \langle 0.19, 0.9975 \rangle \\
 &= \langle 0.89, 0.0025 \rangle
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_v &= 1 - ((1 - R_c) \cdot (1 - R_d)) \\
 &= 1 - ((1 - \langle 0.81, 0.011 \rangle) \cdot (1 - \langle 0.81, 0.0016 \rangle)) \\
 &= 1 - (\langle 0.19, 0.989 \rangle \cdot \langle 0.19, 0.9984 \rangle) \\
 &= 1 - \langle 0.19, 0.989 \rangle \\
 &= \langle 0.81, 0.011 \rangle
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_z &= R_c \cdot R_u \cdot R_v \\
 &= \langle 0.81, 0.00255 \rangle \cdot \langle 0.89, 0.0025 \rangle \cdot \langle 0.81, \\
 &0.0011 \rangle \\
 &= \langle 0.81, 0.00255 \rangle
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= 1 - ((1 - R_u) \cdot (1 - R_v) \cdot (1 - R_z)) \\
 &= 1 - ((1 - \langle 0.9025, 0.001 \rangle) \cdot (1 - \langle 0.9025, \\
 &0.001 \rangle) \cdot (1 - \langle 0.81, 0.002555 \rangle)) \\
 &= 1 - (\langle 0.0975, 0.999 \rangle \cdot \langle 0.0975, 0.999 \rangle \cdot \\
 &\langle 0.19, 0.997445 \rangle) \\
 &= 1 - \langle 0.0975, 0.999 \rangle \\
 &= \langle 0.9025, 0.001 \rangle
 \end{aligned}$$

5. 결론

본 논문에서는 피타고라스 퍼지집합을 이용하여 퍼지 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 피타고라스 퍼지집합은 MCDM 과정에서 의사 결정권자가 제공하는 소속정도 $\mu_A(x)$ 와 비소속정도 $\nu_A(x)$ 에 대한 값이 $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ 인 상황을 $0 \leq \mu_A^2(x) + \nu_A^2(x) \leq 1$ 로 해결할

수 있는 퍼지집합으로 MCDM 과정을 원활하게 진행하는 것이 가능하게 한다. 그러므로 피타고라스 퍼지집합을 이용하면 기존의 퍼지집합이 처리하지 못했던 MCDM 과정을 보다 더 유연하게 처리하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 것이 가능하게 된다.

References

- [1] A. Kaufmann, and M. M. Gupta, *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*, North-Holland, Amsterdam, 1988.
- [2] D. Singer, *A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 34, pp. 145-155, 1990.
- [3] L. Zadeh, *Fuzzy sets*, Inform and Control, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [4] I. Turksen, *Interval valued fuzzy sets based on normal forms*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 20, pp. 191-210, 1986.
- [5] K. Atanassov, *Intuitionistic fuzzy sets*. Fuzzy Sets and Systems Vol. 20, No. 1, pp. 87-96, 1986.
- [6] W. L. Gau, and D. J. Buehrer, *Vague sets*, IEEE Trans. on SMC, Vol. 23, No. 2, pp. 610-614, 1993.
- [7] H. Bustince, and P. Burillo, *Vague sets are intuitionistic fuzzy sets*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 79, No. 3, pp. 403-405, 1996.
- [8] F. Smarandache, *A unifying field in logics, Neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic*. Rehoboth: American research press, 1999.
- [9] R. R. Yager, *Pythagorean fuzzy subsets*, In Proc. Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting, Edmonton,

- Canada, pp. 57-61, 2013.
- [10] R. R. Yager, *Pythagorean membership grades in multi-criteria decision making*, IEEE Trans Fuzzy Systems, Vol. 22, pp. 958-965, 2014.
- [11] X. Zhang, and X. Zeshui, *Extention of TOPSIS to multicriteria decision making with Pythagorean fuzzy sets*, International Journal of intelligent systems, Vol. 29, pp. 1061-1078, 2014.
- [12] S. M. Chen, *Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 64, pp. 31-38, 1994.
- [13] A. Kumar, S. P. Yadav, and S. Kumar, *Fuzzy reliability of a marine power plant using interval valued vague sets*, Int'l J. of Applied Science Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 71-82, 2006.
- [14] S-H Wei, and S-M Chen, *A new similarity measure between interval valued trapezoidal fuzzy numbers based on geometric distance and the center of gravity points*, Proceedings of the sixth international conference on machine learning and cybernetics, HongKong, pp. 1412-1417, 2007.
- [15] S. Y. Cho, *Reliability analysis of fuzzy systems with weighted components using interval valued vague sets*, J. of korea knowledge information technology society, Vol. 3, No. 2, pp. 31-40, 2008.
- [16] C. F. Fuh, R. Jea, and J. S. Su, *Fuzzy system reliability analysis based on level $(\lambda, 1)$ interval-valued fuzzy numbers*, Information Sciences, Vol. 272, pp. 185-197, 2014.
- [17] Komal, D. Chang, and S-Y. Lee, *Fuzzy reliability analysis of dual-fuel team turbine propulsion system in LNG carriers considering data uncertainty*, Journal of natural gas science and engineering, Vol. 23, pp. 148-164, 2015.
- [18] S. Y. Cho, *Reliability analysis of systems using single valued neutrosophic sets*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 10, No. 4, pp. 449-453, 2015.
- [19] M. K. Sharma, *Fuzzy reliability analysis of a summer air conditioning system*, Advanced in Fuzzy Mathematics, Vol. 12, No. 2, pp. 319-332, 2017.
- [20] S. Y. Cho, *Reliability analysis of systems using level $(\lambda, 1)$ interval-valued fuzzy sets considering the widths*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 13, No. 1, pp. 121-127, 2018.

피타고라스 퍼지집합에 기반을 둔 퍼지시스템 신뢰도 분석

조상엽

청운대학교 컴퓨터공학과 교수

요 약

공학시스템을 설계할 때 신뢰도 모형은 중요한 역할을 한다. 기존의 신뢰도 모형에서는 시스템의 신뢰도를 정확한 값으로 표현하려고 한다. 그러나 실세계에서 이렇게 정확한 데이터를 얻는 것은 종종 어렵게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 공학시스템의 신뢰도 모형에 퍼지집합 이론이 사용되기 시작 하였다. 퍼지집합에서는 신뢰도를 퍼지집합의 소속정도 $\mu_A(x)$ 인 실수로 표현한다. $\mu_A(x) \in [0, 1]$. 구간값 퍼지집합에서는 신뢰도를 구간값 퍼지집합의 소속정도인 구

간 $[\mu_{A^c}(x), \mu_{A^c}(x)]$ 으로 표현한다. 믿음시스템에서 믿음을 표현하기 위한 직관 퍼지집합에서는 신뢰도를 참 소속정도 $\mu_A(x)$ 와 거짓 소속정도 $v_A(x)$ 로 표현하여 신뢰도를 표현한다. $\mu_A(x), v_A(x) \in [0, 1], 0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1$. 불확정성을 표현할 수 있는 뉴트로소픽 집합에서는 참 소속값 $T_A(x)$, 불확정 소속값 $I_A(x)$ 그리고 거짓 소속값 $F_A(x)$ 으로 신뢰도를 표현한다. 의사결정권자가 기준 C_j 에 대하여 이를 만족하는 x_i 의 정도를 제공하기도 하고 또는 만족하지 못하는 x_i 의 정도를 제공하기도 한다. 이러한 경우 선호도 $\mu_{C_j}(x_i)$ 는 기존의 퍼지집합 등으로 처리가 어려운 $0 \leq \mu_{C_j}(x_i) \leq 1$ 경우가 발생할 수가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 사용할 수 있는 피타고라스 퍼지집합을 이용하여 의사결정 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다.

interests include artificial intelligence, intelligent systems, fuzzy sets, neutrosophic sets. He is a life member of the KKITS.

E-mail address: sycho@chungwoon.ac.kr

감사의 글

본 논문은 청운대학교의 2019학년도 학술연구조성비를 지원받음.



Sang Yeop Cho received the bachelor's degree in the Department of Computer Engineering from the Hannam University in 1986. He received the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Computer Engineering from Chungang University in 1988 and 1993, respectively. He is currently a professor in the Department of Computer Engineering at Chungwoon University, Incheon, Korea. He has been invited the publicity chair and received the outstanding leadership award in the international conference on computer convergence technology 2011. He was a member of program committee of IEEE international conference on knowledge innovation and invention(ICKII) 2019. His current research