Journal of Knowledge Information Technology and Systems

ISSN 1975-7700

http://www.kkits.or.kr

Fuzzy System Reliability Analysis Using Picture Fuzzy Sets

Sang Yeop Cho*

Department of Computer Engineering, Chungwoon University

ABSTRACT

Reliability analysis is the important discipline of reliability engineering. In conventional reliability analysis, the reliability of the components of a system is represented as exact values. Obtaining these data under changing environment conditions is often difficult. Hence fuzzy set theory is used to analyze the fuzzy system reliability, where the reliabilities of the components of a system are represented by fuzzy sets. There are various types of fuzzy sets used to evaluate the reliability of the systems such as the fuzzy sets, interval valued fuzzy sets, intutionistic fuzzy sets, picture fuzzy sets. In the fuzzy sets, the degree of membership $\mu_A(x)$ is represented as a real number. In the interval valued fuzzy sets, the degree of membership is represented as an interval $[\mu_{A^L}(x),\ \mu_{A^U}(x)]$, where $\mu_{A^L}(x)$ is the minimum degree of membership and $\mu_{A^U}(x)$ is the maximum degree of membership. $[\mu_{A^L}(x),\ \mu_{A^U}(x)] \subseteq [0,1]$. In the intuitionistic fuzzy sets, the degree of membership consist of $\mu_A(x)$ and $\upsilon_A(x)$, where $\mu_A(x)$ is the degree of membership and $\upsilon_A(x)$ is the degree of non-membership. $\mu_A(x),\ \upsilon_A(x) \in [0,1]$. In the picture fuzzy sets, the degree of membership consist of $\mu_A(x)$, $\eta_A(x)$, and $\upsilon_A(x)$, where $\mu_A(x)$ is called the degree of positive membership, $\eta_A(x)$ is called the degree of neutral membership, and $\upsilon_A(x)$ is called the degree of negative membership. $\mu_A(x),\ \eta_A(x),\ \upsilon_A(x) \in [0,1]$. In this paper we propose the way to analyze the fuzzy system reliability based on the picture fuzzy sets. The picture fuzzy sets have the capability of representing the positive, negative, neutral, and refusal situation. Therefore the picture fuzzy sets become more flexible to describe the reliabilities than the other methods.

KEYWORDS: Reliability analysis, Reliability engineering, Fuzzy systems, Fuzzy sets, Picture fuzzy sets

ARTICLE INFO: Received 18 September 2018, Revised 3 October 2018, Accepted 12 October 2018.

*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

Journal of Knowledge Information Technology and Systems(JKITS), Vol. 13, No. 5, pp. 631-637, October 2018

1. 서 론

공학 시스템을 설계할 때 시스템의 신뢰도를 평가하는 것은 매우 중요한 문제이다. 시스템이 처리하는 자료들은 불확실성을 가지고 있으므로 정확한 분석을 하는 것이 어렵게 된다 [1]. 자료의 불확실성을 처리하기 위해 사용하는 방법이 퍼지집합이다 [2].

퍼지집합에서는 소속정도(degree of membership) $\mu_A(x)$로 표현한다 [2]. 0 ≤ $\mu_A(x)$ ≤ 1. 구간값 퍼지집합(interval valued fuzzy set)에서 소속정도는 구간 $[\mu_{A^L}(x), \mu_{A^U}(x)]$으로 표현한다 [3]. 여기에서 $\mu_{A^L}(x)$은 구간의 최소 소속정도이고 $\mu_{A^U}(x)$는 구간의 최대 소속정도이다. 0 ≤ $\mu_{A^L}(x)$ ≤ $\mu_{A^U}(x)$ ≤ 1, $[\mu_{A^L}(x), \mu_{A^U}(x)]$ ⊆ $[0,1]$. 직관퍼지집합(intuitionistic fuzzy set)에서 소속정도는 $\mu_A(x)$와 $\upsilon_A(x)$로 구성한다 [4]. $\mu_A(x)$는 소속정도이고 $\upsilon_A(x)$는 비소속정도이다. $\mu_A(x)$, $\upsilon_A(x)$ ∈ $[0,1]$, 0 ≤ $\mu_A(x)$ + $\upsilon_A(x)$ ≤ 1. 픽쳐 퍼지집합(picture fuzzy set)에서 소속정도는 $\mu_A(x)$, $\eta_A(x)$, $\upsilon_A(x)$으로 구성한다 [5]. $\mu_A(x)$는 긍정(positive) 소속정도 이고$\eta_A(x)$는 중립(neutral) 소속정도이며 $\upsilon_A(x)$는 부정(negative) 소속정도이다. $\mu_A(x)$, $\eta_A(x)$, $\upsilon_A(x)$ ∈ $[0,1]$. $\mu_A(x)$ + $\eta_A(x)$ + $\upsilon_A(x)$ ≤ 1, (1 – ($\mu_A(x)$ + $\eta_A(x)$ + $\upsilon_A(x)$))는 거부(refusal) 소속정도가 된다.

본 연구에서는 픽쳐 퍼지집합을 이용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다. 픽쳐 퍼지집합은 기존의 퍼지집합들과 달리 상황에 대한 긍정, 부정, 중립 그리고 거부 등을 표현하는 것이 가능하게 된다. 그러므로 픽쳐 퍼지집합은 이용하여 시스템 구성요소의 신뢰도를 픽쳐 퍼지집합으로 표현하여 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하게 되면 기존의 방법보다 더 유연하게 평가하는 것이 가능하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 관련연구를 기술한다. 제 3 장에서는 픽쳐 퍼지집합을 간단하게 소개한다. 제 4 장에서는 픽쳐 퍼지집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하다. 그리고 마지막으로 제 5 장에서는 결론을 기술한다.

2. 관련연구

이 장에서는 퍼지집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 연구한 관련 연구들에 대하여 간단하게 소개한다[6-14].

Singer [6]은 결함 트리(fault tree)의 사건 빈도수를 L-R 퍼지 숫자로 표현하여 시스템의 신뢰도를 계산하는 접근법을 사용하였다. Chen [7]은 신뢰도를 삼각 퍼지숫자로 표현하여 신뢰도를 빠르게 계산하는 방법을 제안하였다. Kumar [8] 등은 해양발전소 시스템의 신뢰도를 평가하기 위해 물과 썰물의 조수간만의 차이를 구간값 모호집합을 이용하는 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하였다. Wei [9] 등은 무게중심과 기하거리를 이용하는 구간값 사다리꼴 퍼지숫자를 이용하여 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하였다. Cho [10]는 시스템의 구성요소의 신뢰도와 가중치를 구간값 모호집합을 이용하여 시스템의 가중 신뢰도를 평가하는 방법을 사용하였다. Fuh [11] 등은 시스템의 신뢰도를 수준 $(\lambda, 1)$ 구간값 퍼지 숫자를 이용하여 표현하고 이를 기반으로 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. Komal [12] 등은 삼각 퍼지숫자를 이용하여 LNG 수송선의 이중 연료 스팀 터빈 추진시스템의 신뢰도를 분석하는 데 적용하였다. Sharma [13]는 삼각 퍼지숫자와 사다리꼴 퍼지숫자를 이용

하여 에어콘의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. Cho [14]은 시스템의 신뢰도를 평가하기 위해 구성요소의 신뢰도를 구간값 퍼지집합과 이 집합의 폭으로 표현하여 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하였다.

3. 픽쳐 퍼지집합

이 장에서는 픽쳐 퍼지집합(picture fuzzy set)에 대하여 간단하게 소개한다.

퍼지집합: 전체집합 U에서 퍼지집합 A는 퍼지집합 A에 포함되는 원소 x의 소속정도를 실수로 표현하는 소속정도 $\mu_A(x)$을 갖는 집합이다.

A = {(x, $\mu_A(x)$): | x ∈ U} (1)

여기에서 $\mu_A(x) \in [0,1]$.

구간값 퍼지집합: 전체집합 U에서 구간값 퍼지집합 A는 구간값 퍼지집합 A에 포함되는 원소의 소속정도을 구간 [$\mu_{A^L}(x)$, $\mu_{A^U}(x)$]으로 표현하는 집합이다. $\mu_{A^L}(x)$는 최소 소속정도이고 $\mu_{A^U}(x)$는 최대 소속정도이다.

A = {(x, [$\mu_{A^L}(x)$, $\mu_{A^U}(x)$]): | x ∈ U} (2)

여기에서 0 ≤ $\mu_{A^L}(x)$ ≤ $\mu_{A^U}(x)$ ≤ 1. $[\mu_{A^L}(x),\ \mu_{A^U}(x)] \subseteq [0,1]$.

직관 퍼지집합: 전체집합 U에서 직관 퍼지집합 A는 직관 퍼지집합 A에 포함되는 원소의 소속정도를 $\mu_A(x)$, $\upsilon_A(x)$로 표현하는 집합이다. $\mu_A(x)$는 소속정도라고 하고 $\upsilon_A(x)$는 비소속정도라고 한다.

A = {(x, [$\mu_A(x)$, $\upsilon_A(x)$]): | x ∈ U} (3)

여기에서 $\mu_A(x)$, $\upsilon_A(x) \in [0,1]$, ($\mu_A(x)$ + $\upsilon_A(x)$) ≤ 1.

픽쳐 퍼지집합: 전체집합 U에서 픽쳐 퍼지집합 A는 픽쳐 퍼지집합 A에 포함되는 원소의 소속정도를 $\mu_A(x)$, $\eta_A(x)$, $\upsilon_A(x)$로 표현하는 집합이다. $\mu_A(x)$는 긍정(positive) 소속정도라고 하고, $\eta_A(x)$는 중립(neutral) 소속정도라고 하며 $\upsilon_A(x)$는 부정(negative) 소속정도라고 한다.

A = {(x, [$\mu_A(x)$, $\eta_A(x)$, $\upsilon_A(x)$]): | x ∈ U} (4)

여기에서 $\mu_A(x)$, $\eta_A(x)$, $\upsilon_A(x) \in [0,1]$, ($\mu_A(x)$ + $\eta_A(x)$ + $\upsilon_A(x)$) ≤ 1. (1 - ($\mu_A(x)$ + $\eta_A(x)$ + $\upsilon_A(x)$))는 거부(refusal) 소속정도라고 한다.

4. 신뢰도 분석

이 장에서는 픽쳐 퍼지집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다. 시스템의 신뢰도는 시스템 구성요소의 신뢰도를 기반으로 계산할 수가 있다.

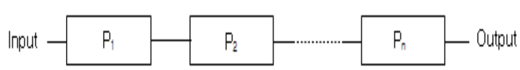

그림 1 순차 시스템의 구성
Figure 1. configuration of serial systems

순차 시스템은 <그림 1>과 같다. P_i는 시스템의 구성요소이며 R_i는 구성요소의 신뢰도라고 하자.

신뢰도 R_i를 픽쳐 퍼지집합으로 표현하면 R_i = $\langle \mu_A(x),\ \eta_A(x),\ \upsilon_A(x) \rangle$이 된다.

순차 시스템의 신뢰도 R은 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$
\begin{aligned}
R &= \prod_{i=1}^{n} R_i \\
&= (R_1 \cdot R_2 \cdot \cdots \cdot R_n) \\
&= (\langle \mu_{A_1}(x),\ \eta_{A_1}(x),\ \upsilon_{A_1}(x) \rangle \cdot \langle \mu_{A_2}(x),\ \eta_{A_2}(x),\ \upsilon_{A_2}(x) \rangle \cdot \cdots \cdot \langle \mu_{A_n}(x),\ \eta_{A_n}(x),\ \upsilon_{A_n}(x) \rangle) \\
&= \langle \min(\mu_{A_1}(x),\ \mu_{A_2}(x),\ \cdots,\ \mu_{A_n}(x)),\ \min(\eta_{A_1}(x),\ \eta_{A_2}(x),\ \cdots,\ \eta_{A_n}(x)),\ \max(\upsilon_{A_1}(x),\ \upsilon_{A_2}(x),\ \cdots,\ \upsilon_{A_n}(x)) \rangle \\
&= \langle \min_{i=1}^{n} \mu_{A_i}(x),\ \min_{i=1}^{n} \eta_{A_i}(x),\ \max_{i=1}^{n} \upsilon_{A_i}(x) \rangle \qquad (5)
\end{aligned}
$$

순차시스템의 신뢰도는 긍정 소속정도 $\mu_A(x)$, 중립 소속정도 $\eta_A(x)$ 그리고 부정 소속정도 $\upsilon_A(x)$의 곱하기로 구하므로 (5)와 같이 각각에 대한 최소값을 구하는 식으로 유도가 된다.

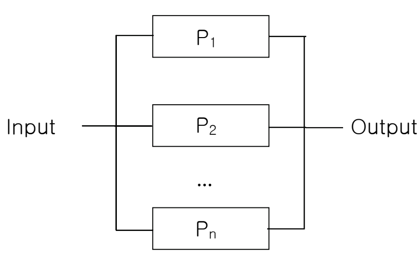

그림 2 병렬 시스템의 구성
Figure 2. configuration of parallel systems

병렬 시스템은 <그림 2>와 같다. P_i는 시스템의 구성요소이며 R_i는 구성요소의 신뢰도라고 하자. 신뢰도 R_i를 픽쳐 퍼지집합으로 표현하면 R_i = $\langle \mu_A(x),\ \eta_A(x),\ \upsilon_A(x) \rangle$이 된다. 병렬 시스템의 전체 신뢰도 R은 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$
\begin{aligned}
R &= 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - R_i) \\
&= 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \langle \mu_{A_i}(x),\ \eta_{A_i}(x),\ \upsilon_{A_i}(x) \rangle) \\
&= 1 - \prod_{i=1}^{n} \langle 1 - \mu_{A_i}(x),\ 1 - \eta_{A_i}(x),\ 1 - \upsilon_{A_i}(x) \rangle \\
&= 1 - [\langle 1 - \mu_{A_1}(x),\ 1 - \eta_{A_1}(x),\ 1 - \upsilon_{A_1}(x) \rangle \cdot \langle 1 - \mu_{A_2}(x),\ 1 - \eta_{A_2}(x),\ 1 - \upsilon_{A_2}(x) \rangle \cdot \cdots \cdot \langle 1 - \mu_{A_n}(x),\ 1 - \eta_{A_n}(x),\ 1 - \upsilon_{A_n}(x) \rangle] \\
&= 1 - \langle \min(1 - \mu_{A_1}(x),\ 1 - \mu_{A_2}(x),\ \cdots,\ 1 - \mu_{A_n}(x)),\ \min(1 - \eta_{A_1}(x),\ 1 - \eta_{A_2}(x),\ \cdots,\ 1 - \eta_{A_n}(x)),\ \max(1 - \upsilon_{A_1}(x),\ 1 - \upsilon_{A_2}(x),\ \cdots,\ 1 - \upsilon_{A_n}(x)) \rangle \\
&= 1 - \langle \min_{i=1}^{n}(1 - \mu_{A_i}(x)),\ \min_{i=1}^{n}(1 - \eta_{A_i}(x)),\ \max_{i=1}^{n}(1 - \upsilon_{A_i}(x)) \rangle \\
&= \langle 1 - \min_{i=1}^{n}(1 - \mu_{A_i}(x)),\ 1 - \min_{i=1}^{n}(1 - \eta_{A_i}(x)),\ 1 - \max_{i=1}^{n}(1 - \upsilon_{A_i}(x)) \rangle \qquad (6)
\end{aligned}
$$

병렬시스템의 신뢰도는 긍정 소속정도 $\mu_A(x)$, 중립 소속정도 $\eta_A(x)$ 그리고 부정 소속정도 $\upsilon_A(x)$에 대한 신뢰도는 (6)과 같이 각각의 역수에 대한 곱하기를 구한 후 이 결과의 역수를 구하게 된다.

예: Singer에서 사용한 예를 기반으로 픽쳐퍼지 집합을 적용 예를 보인다[6].

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 결함나무는 〈그림 3〉과 같이 만들 수가 있다.

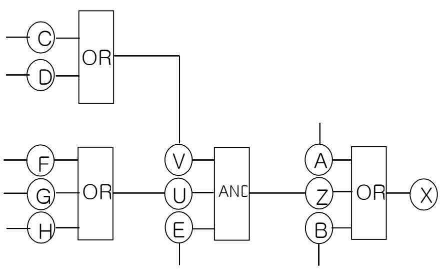

그림 3. 예에 대한 결함나무
Figure 3. fault tree for example

표 1에는 사고에 영향을 주는 사건을 보여준다.

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

기호	기본사건	$\mu(x)$	$\eta(x)$	$\upsilon(x)$
A	조작원1이 보안경을 미착용	0.95	0.00	0.01
B	조작원2가 보안경을 미착용	0.95	0.00	0.01
C	기계1이 동작 중	0.90	0.03	0.01
D	기계2가 동작 중	0.90	0.02	0.04
E	보안경 없이 들어온 사람	0.90	0.00	0.05
F	재료를 가져오는 사람	0.80	0.04	0.10
G	생산품을 가져가는 사람	0.80	0.02	0.10
H	다른 이유로 들어오는 사람	0.90	0.01	0.05

최종결과 X를 구하는 함수는 다음과 같다. U=F+G+H, V=C+D, Z=E×U×V, X=A+B+Z. 그러므로 다음과 같이 신뢰도를 구할 수 있다.

R_u=1-((1-R_f)•(1-R_g)•(1-R_h))

=1-((1-⟨0.80,0.04,0.10⟩)•(1-⟨0.80,0.02,0.10⟩)•(1-⟨0.95,0.01,0.05⟩))

=1-(⟨0.20,0.96,0.90⟩•⟨0.20,0.98,0.90⟩•⟨0.05,0.99,0.95⟩)

=1-⟨0.05,0.98,0.90⟩

=⟨0.95,0.02,0.01⟩

R_v=1-((1-R_c)•(1-R_d))

=1-((1-⟨0.90,0.03,0.01⟩)•(1-⟨0.90,0.02,0.04⟩))

=1-(⟨0.10,0.97,0.99⟩•⟨0.10,0.98,0.96⟩)

=1-⟨0.10,0.97,0.96⟩

=⟨0.90,0.03,0.04⟩

R_z=R_e•R_u•R_v

=⟨0.90,0.00,0.05⟩•⟨0.95,0.02,0.01⟩•⟨0.90,0.03,0.04⟩

=⟨0.90,0.03,0.01⟩

R_x=1-((1-R_a)•(1-R_b)•(1-R_z))

=1-((1-⟨0.95,0.00,0.01⟩)•(1-⟨0.95,0.00,0.01⟩)•(1-⟨0.90,0.03,0.01⟩))

=1-(⟨0.05,1.00,0.99⟩)•⟨0.05,1.00,0.99⟩)•⟨0.10,0.97,0.99⟩)

=1-⟨0.05,0.97,0.99⟩

=⟨0.95,0.03,0.01⟩

5. 결 론

본 논문에서는 픽쳐 퍼지집합을 이용하여 퍼지 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 픽쳐 퍼지집합은 긍정 소속함수 $\mu_A(x)$, 중립 소속함수 $\eta_A(x)$ 그리고 부정 소속함수 $\upsilon_A(x)$로 구성되며 $1-(\mu_A(x)+\eta_A(x)+\upsilon_A(x))$는 거부(refusal)라고 불리는 소속정도를 표현할 수 있다.

피쳐집합은 기존의 퍼지집합에서는 표기하기 어려웠던 중립상태 그리고 거부상태를 중립 소속함수 그리고 식 $1-(\mu_A(x)+\eta_A(x)+\upsilon_A(x))$

으로 표현할 수 있으므로 퍼지 시스템의 상태를 긍정, 중립, 부정 그리고 거부 등으로 표현할 수 있다.

그러므로 픽쳐집합을 이용하여 퍼지시스템의 상태를 표현하게 되면 보다 더 유연하고 적절하게 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 것이 가능하게 된다.

References

[1] A. Kaufmann, and M. M. Gupla, *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*, North-Holland, Amsterdam, 1988.

[2] L. Zadeh, *Fuzzy sets*, Inform and Control, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.

[3] I. Turksen, *Interval valued fuzzy sets based on normal forms*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 20, pp. 191-210, 1986.

[4] K. Atanassov, *Intuitionistic fuzzy sets*. Fuzzy Sets and Systems Vol. 20, No. 1, pp. 87-96, 1986.

[5] B. C. Cuong, *Picture fuzzy sets*, Journal of Computer Science and Cybernetics, Vol. 30, No. 4, pp. 409-420, 2014.

[6] D. Singer, *A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 34, pp. 145-155, 1990.

[7] S. M. Chen, *Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 64, pp. 31-38, 1994.

[8] A. Kumar, S. P. Yadav, and S. Kumar, *Fuzzy reliability of a marine power plant using interval valued vague sets*, Int'l Jl. of Applied Science Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 71-82, 2006.

[9] 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.

[10] S. Y. Cho, *Reliability analysis of fuzzy systems with weighted components using interval valued vague sets*, Jl. of KKITS, Vol. 3, No. 2, pp. 31-40, 2008.

[11] C. F. Fuh, R. Jea, and J. S. Su, *Fuzzy system reliability analysis based on level (λ,1) interval-valued fuzzy numbers*, Information Sciences, Vol. 272, pp. 185-197, 2014.

[12] 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.

[13] M. K. Sharma, Fuzzy reliability analysis of a summer air conditioning system, Advanced in Fuzzy Mathematics, Vol. 12, No. 2, pp. 319-332, 2017.

[14] S. Y. Cho, *Reliability analysis of systems using level (λ, 1) interval-valued fuzzy sets considering the widths,* Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 13, No. 1, pp. 121-127, 2018.

픽쳐 퍼지집합을 이용한 퍼지시스템 신뢰도 분석

Journal of Knowledge Information Technology and Systems(JKITS), Vol. 13, No. 5, pp. 631-637, October 2018

조상엽
청운대학교 컴퓨터공학과 교수

요 약

신뢰도 분석은 신뢰도 공학의 중요한 분야이다. 기존의 신뢰도 분석에서는 시스템 구성요소의 신뢰도를 정확한 값으로 표현한다. 변화하는 환경에서 이러한 데이터를 얻는 것은 종종 어렵게 된다. 그래서 퍼지집합 이론이 시스템의 신뢰도를 분석하는데 사용하게 되었다. 여기에서 시스템 구성요소의 신뢰도를 퍼지집합으로 표현한다. 시스템의 신뢰도를 평가하는데 퍼지집합, 구간값 퍼지집합, 직관 퍼지집합, 픽쳐 퍼지집합과 같은 다양한 퍼지집합의 형태가 있다. 퍼지집합에서 소속정도 $\mu_A(x)$는 실수로 표현한다. 구간값 퍼지집합에서는 소속정도가 구간 $[\mu_{A^L}(x),\ \mu_{A^U}(x)]$으로 표현한다. 여기에서 $\mu_{A^L}(x)$는 최소 소속정도이고 $\mu_{A^U}(x)$는 최대 소속정도이다. $[\mu_{A^L}(x),\ \mu_{A^U}(x)] \subseteq [0,1]$. 직관 퍼지집합에서는 소속정도가 $\mu_A(x)$와 $\upsilon_A(x)$로 구성한다. 여기에서 $\mu_A(x)$는 소속정도이고 $\upsilon_A(x)$는 비소속정도이다. $\mu_A(x),\ \upsilon_A(x) \in [0,1]$. 픽쳐 퍼지집합에서는 소속정도가 $\mu_A(x),\ \eta_A(x),\ \upsilon_A(x)$으로 구성한다. $\mu_A(x)$는 긍정 소속정도 이고 $\eta_A(x)$는 중립 소속정도이며 $\upsilon_A(x)$는 부정 소속정도이다. $\mu_A(x),\ \eta_A(x),\ \upsilon_A(x) \in [0,1]$. 본 논문에서는 픽쳐 퍼지집합을 기반으로 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안한다. 픽쳐 퍼지집합은 긍정, 부정, 중립 그리고 거부 등의 상황을 표현하는 것이 가능해진다. 그러므로 픽쳐 퍼지집합은 다른 방법보다 더 유연하게 신뢰도를 기술하는 것이 가능하게 된다.

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. His current research 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