



## Reliability Analysis of Systems Using Interval Valued Neutrosophic Sets

Sang Yeop Cho\*

*Department of Internet, Chungwoon University*

### ABSTRACT

There are many various methods to deal with the reliability of systems. Fuzzy set theory is the one of the methods in order to evaluate the reliability of systems. In the fuzzy set theory the membership degree  $\mu_A(x)$  is represented by real number, where  $\mu_A(x) \in [0, 1]$ . Sometimes the membership degree of the fuzzy sets can not be represented by real number because of the membership degree itself may has the vagueness. To resolve the this problem the interval valued fuzzy sets are introduced. In the interval valued fuzzy sets the membership degree  $\mu_A(x)$  is represented by interval, where  $\mu_A(x) \subseteq [0, 1]$ . In some domains we need the concept of the truth membership function  $t_A(x)$  to supported by the evidence and the falsity membership function  $f_A(x)$  against by the evidence, where  $t_A(x), f_A(x) \in [0, 1]$ . In order to deal with these the intuitionistic fuzzy sets are proposed. The classic sets, the fuzzy sets, the interval valued fuzzy sets, and the intuitionistic sets are able to only capture the concept of the incompleteness not the indeterminacy of information. In this study we propose a new way to evaluate the reliability of systems based on the interval neutrosophic sets. The interval neutrosophic set is a part of the neutrosophic sets which are able to deal with the nature of neutralities. In the interval neutrosophic sets these are consisted of three components such as truth membership function  $T_A(x)$ , indeterminacy membership function  $I_A(x)$ , and falsity membership function  $F_A(x)$ .  $T_A(x), I_A(x), F_A(x) \subseteq [0, 1]$ . Therefore we can manipulate the indeterminacy based on the indeterminacy membership function  $I_A(x)$  of the interval neutrosophic sets. The proposed method may be used to analyze the reliability of systems which have the concept of the indeterminacy.

© 2015 KKITS All rights reserved

**KEYWORDS :** Reliability analysis, Neutrosophic sets, Interval valued neutrosophic sets, Neutrosophic operations, Neutrosophy

**ARTICLE INFO:** Received 20 September 2015, Revised 8 October 2015, Accepted 8 October 2015.

\*Corresponding author is with the Department of Internet, Chungwoon University, 25 Daehak-gil Hongseong-eup

Hongseong-gun Chungnam, 350-701, KOREA.  
E-mail addresses: sycho@chungwoon.ac.kr

## 1. 서론

여러 분야에서 사용하는 공학 시스템의 개발에서 항상 고려해야 할 사항 중에 한 가지가 공학 작업의 신뢰도 모형이다[1]. 실세계에서 사람에 의한 오류나 입력되는 자료의 불확실성 등에 의해 정확한 결과를 평가하고 분석하는 일들이 많은 시스템에서 어려워지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 일련의 연구자들이 시스템의 신뢰도 분석에 사용한 방법이 퍼지집합 이론이다[2]. 퍼지집합 이론을 이용하여 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한 여러 연구들이 있다[3-8].

Singer는 시스템이 신뢰도를 분석하는데 퍼지집합 접근법을 사용하는 것을 제안하였다. 이 연구에서는 사건의 빈도수를 L-R퍼지 숫자로 표현하여 사건간의 허용한계(tolerance) 등을 평가하였다[3]. Chen은 계산 시간을 많이 필요로 하는 Singer의 문제점을 해결하기 위해 삼각퍼지숫자의 단순한 구조를 이용하여 더 빠른 계산이 가능한 방법을 제안하였다[4]. Chen은 기존 퍼지집합의 소속값이 실수로 표현되는 문제를 해결하기 위해 시스템의 구성요소의 신뢰도를 모호집합(vague set)으로 표현하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다[5]. Kumar 등은 해양발전소 시스템의 신뢰도를 평가하기 위해 구간값 사다리꼴 모호집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다[6]. Cho는 시스템의 구성요소의 중요도를 나타내는 가중값을 가지는 가중 시스템의 신뢰도를 구간값 모호집합을 이용하여 계산하는 방법을 제안하였다[7]. Fuh 등은  $\text{level}(\lambda, 1)$  구간값 퍼지 숫자를 이용하여 시스템의 신뢰도를 계산하는 방법을 연구하였다[8].

시스템의 신뢰도를 분석하기 위해 사용하는 전통적인 퍼지집합에서는 전체집합 U에서 정의된 퍼지집합 A의 소속값  $\mu_A(x)$ 를 0과 1 사이의 실수로

표현한다.  $\mu_A(x) \in [0, 1]$ . 그러나 소속값 자체가 실수가 아닌 불확실한 값을 갖는 경우가 발생을 하게 된다. 이러한 경우 기존의 퍼지집합은 이를 처리할 수 있는 방법을 제공하지 못한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Turksen은 구간값 퍼지집합(interval valued fuzzy set)을 제안하였다[9]. 구간값 퍼지집합에서는 퍼지집합이 소속값을 구간(interval)  $[\mu_{A^L}(x), \mu_{A^U}(x)]$ 으로 표현한다. 여기에서  $0 \leq \mu_{A^L}(x) \leq \mu_{A^U}(x) \leq 1$ . 믿음시스템(belief system) 등에서는 기존의 퍼지집합에서는 다룰 수가 없었던 증거(evidence)를 지지하는 참 소속함수(truth-membership function) 뿐만 아니라 증거에 반하는 거짓 소속함수(falsity-membership function)도 같이 고려해야만 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 Atanassov는 퍼지집합을 일반화한 직관퍼지집합(intuitionistic fuzzy set)을 제안하였다[10]. 직관 퍼지집합에서는 참 소속함수  $t_A(x)$ 와 거짓 소속함수  $f_A(x)$ 를 사용하여 불완전한 정보를 다루는 방법을 제공하고 있다.  $t_A(x), f_A(x) \in [0, 1]$ .  $0 \leq t_A(x) + f_A(x) \leq 1$ . Gau 등은 모호집합을 제안하였다[11]. 직관퍼지집합과 모호집합은 나중에 Bustince 등에 의해 수학적으로 동치임을 밝혀졌다[12].

그러나 기존의 퍼지집합, 구간값 퍼지집합, 직관 퍼지집합 등에서는 불확정성(indeterminacy)을 다룰 수 있는 방법을 제공하지 못하고 있다. 이러한 불확정성을 처리할 수 있는 형식은 1995년 Smarandache가 뉴트로소픽 집합(neutrosophic set)을 제안하면서 이것의 처리가 가능하게 되었다[13]. 뉴트로소픽 집합 A는 전체집합 U 상에서 정의된다.  $x = x(T, I, F) \in A$ . T, I, F는 뉴트로소픽 요소로서 실수 표준 또는 비표준 부분집합  $]0, 1[$ 이다. T는 집합 A에서 참 소속함수의 정도이고 I는 집합 A에서 불확정 소속함수의 정도이며 F는 집합 A에서 거짓 소속함수의 정도가 된다.

뉴트로소픽 집합은 구체화시키지 않으면 과학이나 공학적인 측면에서 실세계에 적용하는 것이 어렵게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 단일값 뉴트로소픽 집합[14], 구간값 뉴트로소픽 집합[15], 단순화한 뉴트로소픽 집합[16] 등이 제안되었다.

본 논문에서는 구간값 뉴트로소픽 집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법에 대하여 제안한다. 구간값 뉴트로소픽 집합을 사용하면 기존의 퍼지집합, 구간값 퍼지 집합, 직관 퍼지 집합 등에서 다룰 수가 없었던 불확정성을 평가하는 방법을 사용할 수 있게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 뉴트로소픽 집합을 소개한다. 제 3 장에서는 구간값 뉴트로소픽 집합을 설명한다. 제 4 장에서는 구간값 뉴트로소픽 집합을 이용하여 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다. 마지막으로 제 5 장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 뉴트로소픽 집합

이 장에서는 뉴트로소픽 집합에 대하여 간단하게 소개를 한다[13].  $S_1$ 과  $S_2$ 를 두 개의 실수 표준 또는 비표준(standard or non-standard) 부분 집합이라고 하자. 그러면  $S_1 + S_2 = \{x \mid x = s_1 + s_2, \text{ 여기서 } s_1 \in S_1 \text{ 그리고 } s_2 \in S_2\}$ ,  $\{1^+\} + S_2 = \{x \mid x = 1^+ + s_2, \text{ 여기서 } s_2 \in S_2\}$ ,  $\{a\} + S_2 = \{x \mid x = a + s_2, \text{ 여기서 } s_2 \in S_2\}$ ,  $S_1 - S_2 = \{x \mid x = s_1 - s_2, \text{ 여기서 } s_1 \in S_1 \text{ 그리고 } s_2 \in S_2\}$ ,  $\{1^+\} - S_2 = \{x \mid x = 1^+ - s_2, \text{ 여기서 } s_2 \in S_2\}$ ,  $\{a\} - S_2 = \{x \mid x = a - s_2, \text{ 여기서 } s_2 \in S_2\}$ ,  $S_1 \cdot S_2 = \{x \mid x = s_1 \cdot s_2, \text{ 여기서 } s_1 \in S_1 \text{ 그리고 } s_2 \in S_2\}$ ,  $\{1^+\} \cdot S_2 = \{x \mid x = 1^+ \cdot s_2, \text{ 여기서 } s_2 \in S_2\}$ ,  $\{a\} \cdot S_2 = \{x \mid x = a \cdot s_2, \text{ 여기서 } s_2 \in S_2\}$ ,  $S_1 / k = \{x \mid x = s_1 / k, \text{ 여기서 } s_1 \in S_1 \text{ 그리고 } k \in \mathbb{R}^*\}$ .

에서  $s_1 \in S_1\}$  여기에서  $k \in \mathbb{R}^*$ .

정의 1: X를 점들(point) 또는 개체들(object)의 공간(space)이라고 하자. X는 x로 표기하는 포괄적인 원소(generic element)를 갖는다. X에 있는 뉴트로소픽 집합 A는 참 소속함수(truth-membership function)  $T_A$ , 불확정 소속함수(indeterminacy-membership function)  $I_A$  그리고 거짓 소속함수(falsity-membership function)  $F_A$ 로 규정할 수 있다.  $T_A(x)$ ,  $I_A(x)$  그리고  $F_A(x)$ 는  $]0^-, 1^+[$ 의 실수 표준 또는 비표준 부분집합이다:

$$T_A : X \rightarrow ]0^-, 1^+[, \tag{1}$$

$$I_A : X \rightarrow ]0^-, 1^+[, \tag{2}$$

$$F_A : X \rightarrow ]0^-, 1^+[. \tag{3}$$

$T_A(x)$ ,  $I_A(x)$  그리고  $F_A(x)$ 의 합에 대해서는 제약조건이 없다. 그래서  $0^- \leq \sup T_A(x) + \sup I_A(x) + \sup F_A(x) \leq 3^+$ .

정의 2: 뉴트로소픽 집합 A의 여집합(complement)은  $c(A)$ 로 표기하고,  $\forall x \in X$ 에 대하여 다음과 같이 정의한다:

$$T_{c(A)}(x) : \{1^+\} - T_A(x), \tag{4}$$

$$I_{c(A)}(x) : \{1^+\} - I_A(x), \tag{5}$$

$$F_{c(A)}(x) : \{1^+\} - F_A(x). \tag{6}$$

정의 3: 만일 아래를 만족한다면 뉴트로소픽 집합 A는 다른 뉴트로소픽 집합 B에 포함(containment)되고  $A \subseteq B$ 로 표기한다:

$$\inf T_A(x) \leq \inf T_B(x), \sup T_A(x) \leq \sup T_B(x), \tag{7}$$

$$\inf I_A(x) \geq \inf I_B(x), \sup I_A(x) \geq \sup I_B(x), \quad (8)$$

$$\inf F_A(x) \geq \inf F_B(x), \sup F_A(x) \geq \sup F_B(x). \quad (9)$$

정의 4: 두 개의 뉴트로소픽 집합 A와 B의 합집합(union)은 C가 되고  $C = A \cup B$ 로 표기한다. C의 참 소속함수, 불확정 소속함수, 거짓 소속함수는  $\forall x \in X$ 에 대해 A와 B의 그것들과 다음과 같은 관계를 갖는다:

$$T_C(x) = T_A(x) + T_B(x) - T_A(x) \times T_B(x), \quad (10)$$

$$I_C(x) = I_A(x) + I_B(x) - I_A(x) \times I_B(x), \quad (11)$$

$$F_C(x) = F_A(x) + F_B(x) - F_A(x) \times F_B(x). \quad (12)$$

정의 5: 두 개의 뉴트로소픽 집합 A와 B의 교합(intersection)은 C가 되고  $C = A \cap B$ 로 표기한다. C의 참 소속함수, 불확정 소속함수, 거짓 소속함수는  $\forall x \in X$ 에 대해 A와 B의 그것들과 다음과 같은 관계를 갖는다:

$$T_C(x) = T_A(x) \times T_B(x), \quad (13)$$

$$I_C(x) = I_A(x) \times I_B(x), \quad (14)$$

$$F_C(x) = F_A(x) \times F_B(x). \quad (15)$$

정의 6: 두 개의 뉴트로소픽 집합 A와 B의 차집합(different)은 C가 되고  $C = A - B$ 로 표기한다. C의 참 소속함수, 불확정 소속함수, 거짓 소속함수는  $\forall x \in X$ 에 대해 A와 B의 그것들과 다음과 같은 관계를 갖는다:

$$T_C(x) = T_A(x) - T_A(x) \times T_B(x), \quad (16)$$

$$I_C(x) = I_A(x) - I_A(x) \times I_B(x), \quad (17)$$

$$F_C(x) = F_A(x) - F_A(x) \times F_B(x). \quad (18)$$

정의 7: A가 전체집합  $E_1$ 에 정의된 뉴트로소픽 집합이고 B가 전체집합  $E_2$ 에 정의된 뉴트로소픽

집합이라고 하자. 만일  $x(T_A^1, I_A^1, F_A^1) \in A$ 이고  $y(T_A^2, I_A^2, F_A^2) \in B$ 라면 두 개의 뉴트로소픽 집합 A와 B의 카티션 곱은 다음과 같이 정의한다:

$$(x(T_A^1, I_A^1, F_A^1), y(T_A^2, I_A^2, F_A^2)) \in A \times B. \quad (19)$$

### 3. 구간값 뉴트로소픽 집합

이 장에서는 구간값 뉴트로소픽 집합(interval valued neutrosophic set: *IVNS*)에 대하여 간략하게 소개를 한다[15]. *IVNS*는 뉴트로소픽 집합의 인스턴스(instance)로 실제적으로 과학과 공학분야에서 사용할 수가 있다.

정의 8: X를 점들(point) 또는 개체들(object)의 공간(space)이라고 하자. X는 x로 표기하는 포괄적인 원소(generic element)를 갖는다. X에 있는 구간값 뉴트로소픽 집합 *IVNS* A는 참 소속함수  $T_A$ , 불확정 소속함수  $I_A$  그리고 거짓 소속함수  $F_A$ 로 규정할 수 있다. X에 있는 각 점 x에 대하여  $T_A(x), I_A(x), F_A(x) \subseteq [0, 1]$ .

$$T_A : X \rightarrow I, \quad (20)$$

$$I_A : X \rightarrow I, \quad (21)$$

$$F_A : X \rightarrow I. \quad (22)$$

여기에서  $I \subseteq [0, 1]$ .

X가 연속적이라면 *IVNS* A는 다음과 같이 적을 수 있다.

$$A = \int_x \langle T_A(x), I_A(x), F_A(x) \rangle / x, x \in X \quad (23)$$

X가 이산적이라면 *IVNS* A는 다음과 같이 적을 수 있다.

$$A = \sum_{i=1}^n \langle T_A(x_i), I_A(x_i), F_A(x_i) \rangle / x_i, x_i \in X. \quad (24)$$

정의 9: 만일  $\forall x \in X$ 에 대해  $\inf T_A(x) = \sup T_A(x) = 0$ ,  $\inf I_A(x) = \sup I_A(x) = 1$  그리고  $\inf F_A(x) = \sup F_A(x) = 0$ 이면  $IVNS$   $A$ 는 공집합이다.

정의 10: 만일  $\forall x \in X$ 에 대해 아래를 만족한다면  $IVNS$   $A$ 는 다른  $IVNS$   $B$ 에 포함(containment)되고  $A \subseteq B$ 로 표기한다:

$$\inf T_A(x) \leq \inf T_B(x), \sup T_A(x) \leq \sup T_B(x), \quad (25)$$

$$\inf I_A(x) \geq \inf I_B(x), \sup I_A(x) \geq \sup I_B(x), \quad (26)$$

$$\inf F_A(x) \geq \inf F_B(x), \sup F_A(x) \geq \sup F_B(x). \quad (27)$$

정의 11: 두 개의  $IVNS$   $A$ 와  $B$ 가 있고 만일  $A \subseteq B$  그리고  $B \subseteq A$ 이라면  $IVNS$   $A$ 와  $B$ 는 같다.

정의 12:  $C_N$ 을  $A$ 의 뉴트로소픽 여집합이라고 하자.  $C_N$ 은 함수  $C_N : N \rightarrow N$  이고 아래에 나오는 최소한 세 개의 공리 요구사항을 만족해야만 한다:

1.  $C_N(0) = 1$  이고  $C_N(1) = 0$ 이다.(경계조건)

2.  $A$ 와  $B$ 를  $X$ 에서 정의되는 두 개의 구간값 뉴트로소픽 집합이라고 하자. 만일  $A(x) \leq B(x)$  이라면  $X$ 에 있는 모든  $x$ 에 대해  $C_N(A(x)) \geq C_N(B(x))$ 이다. (단조성)

3.  $A$ 를  $X$ 에서 정의되는 구간값 뉴트로소픽 집합이라고 하면  $X$ 에 있는 모든  $x$ 에 대해  $C_N(C_N(A(x))) = A(x)$ 이다.(이중 여집합)

정의 13: 구간값 뉴트로소픽 집합  $A$ 의 여집합은  $c(A)$ 로 표기하고  $X$ 에 있는 모든  $x$ 에 대해 아래와 같이 정의된다:

$$T_{c(A)}(x) = F_A(x), \quad (28)$$

$$\inf I_{c(A)}(x) = 1 - \sup I_A(x), \quad (29)$$

$$\sup I_{c(A)}(x) = 1 - \inf I_A(x), \quad (30)$$

$$F_{c(A)}(x) = T_A(x). \quad (31)$$

정의 14: 두 개의 구간값 뉴트로소픽 집합  $A$ 와  $B$ 의 교집합은 구간값 뉴트로소픽 집합  $C$ 이고  $C = A \cap B$ 이라 표기하며  $C$ 의 참 소속함수, 불확정 소속함수, 거짓 소속함수는  $X$ 에 있는 모든  $x$ 에 대해  $A$ 와  $B$ 의 그것들과 아래와 같은 관계가 있다:

$$\inf T_C(x) = \min(\inf T_A(x), \inf T_B(x)), \quad (32)$$

$$\sup T_C(x) = \min(\sup T_A(x), \sup T_B(x)), \quad (33)$$

$$\inf I_C(x) = \max(\inf I_A(x), \inf I_B(x)), \quad (34)$$

$$\sup I_C(x) = \max(\sup I_A(x), \sup I_B(x)), \quad (35)$$

$$\inf F_C(x) = \max(\inf F_A(x), \inf F_B(x)), \quad (36)$$

$$\sup F_C(x) = \max(\sup F_A(x), \sup F_B(x)). \quad (37)$$

정의 15: 두 개의 구간값 뉴트로소픽 집합  $A$ 와  $B$ 의 합집합은 구간값 뉴트로소픽 집합  $C$ 이고  $C = A \cup B$ 이라 표기하며  $C$ 의 참 소속함수, 불확정 소속함수, 거짓 소속함수는  $X$ 에 있는 모든  $x$ 에 대해  $A$ 와  $B$ 의 그것들과 아래와 같은 관계가 있다:

$$\inf T_C(x) = \max(\inf T_A(x), \inf T_B(x)), \quad (38)$$

$$\sup T_C(x) = \max(\sup T_A(x), \sup T_B(x)), \quad (39)$$

$$\inf I_C(x) = \min(\inf I_A(x), \inf I_B(x)), \quad (40)$$

$$\sup I_C(x) = \min(\sup I_A(x), \sup I_B(x)), \quad (41)$$

$$\inf F_C(x) = \min(\inf F_A(x), \inf F_B(x)), \quad (42)$$

$$\sup F_C(x) = \min(\sup F_A(x), \sup F_B(x)). \quad (43)$$

정의 16: 두 개의 구간값 뉴트로소픽 집합  $A$ 와

B의 차집합은 구간값 뉴트로소픽 집합 C이고  $C = A - B$ 이라 표기하며 C의 참 소속함수, 불확정 소속함수, 거짓 소속함수는 X에 있는 모든 x에 대해 A와 B의 그것들과 아래와 같은 관계가 있다:

$$\inf T_C(x) = \min(\inf T_A(x), \inf F_B(x)), \quad (44)$$

$$\sup T_C(x) = \min(\sup T_A(x), \sup F_B(x)), \quad (45)$$

$$\inf I_C(x) = \max(\inf I_A(x), 1 - \sup I_B(x)), \quad (46)$$

$$\sup I_C(x) = \max(\sup I_A(x), 1 - \inf I_B(x)), \quad (47)$$

$$\inf F_C(x) = \max(\inf F_A(x), \inf T_B(x)), \quad (48)$$

$$\sup F_C(x) = \max(\sup F_A(x), \sup T_B(x)). \quad (49)$$

#### 4. 시스템의 신뢰도 분석

이 장에서는 구간값 뉴트로소픽 집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다. 시스템의 신뢰도는 시스템을 구성하는 구성요소의 신뢰도를 기반으로 계산할 수가 있다.

순차 시스템의 구성은 <그림 1>과 같이 구성된다. 여기에서 구성요소  $P_i$ 의 신뢰도를  $R_i$ 로 표기할 수 있다. 구성요소의 신뢰도  $R_i$ 를 구간값 뉴트로소픽 집합으로 표기하면  $R_i = \langle T(P_i), I(P_i), F(P_i) \rangle = \langle (\inf T(P_i), \sup T(P_i)), (\inf I(P_i), \sup I(P_i)), (\inf F(P_i), \sup F(P_i)) \rangle$ 가 된다.  $T(P_i)$ 는  $P_i$ 의 참 소속함수이고  $I(P_i)$ 는  $P_i$ 의 불확정 소속함수이며  $F(P_i)$ 는  $P_i$ 의 거짓 소속함수이다.  $T(P_i)$ ,  $I(P_i)$  그리고  $F(P_i) \subseteq [0, 1]$ .



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

<그림 1>과 같은 순차 시스템의 전체 신뢰도 R은 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$\begin{aligned} R &= \prod_{i=1}^n R_i \\ &= R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n \\ &= \langle (\inf T(P_1), \sup T(P_1)), (\inf I(P_1), \sup I(P_1)), (\inf F(P_1), \sup F(P_1)) \rangle \cdot \langle (\inf T(P_2), \sup T(P_2)), (\inf I(P_2), \sup I(P_2)), (\inf F(P_2), \sup F(P_2)) \rangle \cdot \dots \cdot \langle (\inf T(P_n), \sup T(P_n)), (\inf I(P_n), \sup I(P_n)), (\inf F(P_n), \sup F(P_n)) \rangle \\ &= \langle (\min(\inf T(P_1), \inf T(P_2), \dots, \inf T(P_n)), (\min(\sup T(P_1), \sup T(P_2), \dots, \sup T(P_n))), (\max(\inf I(P_1), \inf I(P_2), \dots, \inf I(P_n))), (\max(\sup I(P_1), \sup I(P_2), \dots, \sup I(P_n))), (\max(\inf F(P_1), \inf F(P_2), \dots, \inf F(P_n))), (\max(\sup F(P_1), \sup F(P_2), \dots, \sup F(P_n)))) \rangle \\ &= \langle (\min_{i=1}^n \inf T(P_i), \min_{i=1}^n \sup T(P_i)), (\max_{i=1}^n \inf I(P_i), \max_{i=1}^n \sup I(P_i)), (\max_{i=1}^n \inf F(P_i), \max_{i=1}^n \sup F(P_i)) \rangle \end{aligned} \quad (50)$$

병렬 시스템의 구성은 <그림 2>와 같이 구성된다. 여기에서 구성요소  $P_i$ 의 신뢰도를  $R_i$ 로 표기할 수 있다. 구성요소의 신뢰도  $R_i$ 를 구간값 뉴트로소픽 집합으로 표기하면  $R_i = \langle T(P_i), I(P_i), F(P_i) \rangle = \langle (\inf T(P_i), \sup T(P_i)), (\inf I(P_i), \sup I(P_i)), (\inf F(P_i), \sup F(P_i)) \rangle$ 가 된다.  $T(P_i)$ 는  $P_i$ 의 참 소속함수이고  $I(P_i)$ 는  $P_i$ 의 불확정 소속함수이며  $F(P_i)$ 는  $P_i$ 의 거짓 소속함수이다.  $T(P_i)$ ,  $I(P_i)$  그리고  $F(P_i) \subseteq [0, 1]$ .

<그림 2>와 같은 병렬 시스템의 전체 신뢰도 R은 다음과 같이 평가할 수 있다.

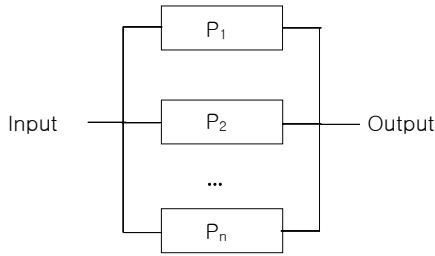


그림 2 병렬 시스템의 구성  
Figure 2. configuration of parallel systems

$$\begin{aligned}
 R &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \\
 &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \langle (\inf T(P_i), \sup T(P_i)), (\inf F(P_i), \sup F(P_i)) \rangle) \\
 &= 1 - \prod_{i=1}^n \langle (1, 1), (0, 0), (0, 0) \rangle - \langle (\inf T(P_i), \sup T(P_i)), (\inf F(P_i), \sup F(P_i)) \rangle \\
 &= 1 - \prod_{i=1}^n \langle (\min(1, \inf F(P_i)), \min(1, \sup F(P_i))), (\max(0, 1 - \sup I(P_i)), \max(0, 1 - \inf I(P_i))), (\max(0, \inf T(P_i)), \max(0, \sup T(P_i))) \rangle \\
 &= 1 - [ \langle (\min(1, \inf F(P_1)), \min(1, \sup F(P_1))), (\max(0, 1 - \sup I(P_1)), \max(0, 1 - \inf I(P_1))), (\max(0, \inf T(P_1)), \max(0, \sup T(P_1))) \rangle \cdot \\
 &\quad \langle (\min(1, \inf F(P_2)), \min(1, \sup F(P_2))), (\max(0, 1 - \sup I(P_2)), \max(0, 1 - \inf I(P_2))), (\max(0, \inf T(P_2)), \max(0, \sup T(P_2))) \rangle \cdot \dots \cdot \\
 &\quad \langle (\min(1, \inf F(P_n)), \min(1, \sup F(P_n))), (\max(0, 1 - \sup I(P_n)), \max(0, 1 - \inf I(P_n))), (\max(0, \inf T(P_n)), \max(0, \sup T(P_n))) \rangle) \\
 &= 1 - \langle (\min_{i=1}^n (\min(0, \inf F(P_i))), \min_{i=1}^n (\min(0, \sup F(P_i))), (\max_{i=1}^n (\max(0, 1 - \sup I(P_i))), \max_{i=1}^n (\max(0, 1 - \inf I(P_i))), (\max_{i=1}^n (\max(0, \inf T(P_i))), \max_{i=1}^n (\max(0, \sup T(P_i)))) \rangle
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \langle (\max(0, \inf T(P_i)), \max_{i=1}^n (\max(0, \sup T(P_i)))) \rangle \\
 &= \langle (1, 1), (0, 0), (0, 0) \rangle - \langle (\min_{i=1}^n (\min(0, \inf F(P_i))), \min_{i=1}^n (\min(0, \sup F(P_i))), (\max_{i=1}^n (\max(0, 1 - \sup I(P_i))), \max_{i=1}^n (\max(0, 1 - \inf I(P_i))), (\max_{i=1}^n (\max(0, \inf T(P_i))), \max_{i=1}^n (\max(0, \sup T(P_i)))) \rangle \\
 &= \langle (\min(1, \min_{i=1}^n (\min(0, \inf F(P_i))), \min(1, \min_{i=1}^n (\min(0, \sup F(P_i))), (\max(0, \max_{i=1}^n (\max(0, 1 - \sup I(P_i))), \max(0, \max_{i=1}^n (\max(0, 1 - \inf I(P_i))), (\max(0, \max_{i=1}^n (\max(0, \inf T(P_i))), \max(0, \max_{i=1}^n (\max(0, \sup T(P_i)))) \rangle) \quad (51)
 \end{aligned}$$

### 5. 결 론

본 논문에서는 구간값 뉴트로소픽 집합을 이용하여 순차 시스템과 병렬 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 구간값 뉴트로소픽 집합은 기존의 퍼지집합, 구간값 퍼지집합, 직관 퍼지 집합이 표현할 수 없는 불확정성을 상한과 하한으로 표현할 수 있는 이론적인 근거를 제공한다. 그러므로 시스템의 상태를 참 소속함수, 불확정 소속함수 그리고 거짓 소속함수를 이용하여 보다 엄밀하게 표현하여 신뢰도를 계산하는 것이 가능하게 된다. 본 연구에서 제안한 방법은 시스템의 불확정성을 구간으로 표현할 수 있는 시스템의 신뢰도를 평가하는 데 적용하는 것이 가능하다.

### References

[1] A. Kaufmann, and M. M. Gupta, *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] D. Singer, *A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 34, pp. 145-155, 1990.
- [4] S. M. Chen, *Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 64, pp. 31-38, 1994.
- [5] S. M. Chen, *Analysis fuzzy system reliability using vague set theory*, Int'l JI. of Applied Science and Engineering, Vol. 1, pp. 82-88, 2003.
- [6] A. Kumar, S. P. Yadav, and S. Kumar, *Fuzzy reliability of a marine power plant using interval valued vague sets*, Int'l JI. of Applied Science Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 71-82, 2006.
- [7] S. Y. Cho, *Reliability analysis of fuzzy systems with weighted components using interval valued vague sets*, JI. of KKITS, Vol. 3, No. 2, pp. 31-40, 2008.
- [8] C. F. Fuh, R. Jea, and J. S. Su, *Fuzzy system reliability analysis based on level  $(\lambda, I)$  interval-valued fuzzy numbers*, Information Sciences, Vol. 272, pp. 185-197, 2014.
- [9] I. Turksen, *Interval valued fuzzy sets based on normal forms*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 20, pp. 191-210, 1986.
- [10] K. Atanassov, *Intuitionistic fuzzy sets*. Fuzzy Sets and Systems Vol. 20, pp. 87-96, 1986.
- [11] W. L. Gau, and D. J. Buehrer, *Vague sets*, IEEE Trans. on SMC, Vol. 23, No. 2, pp. 610-614, 1993.
- [12] H. Bustince, and P. Burillo, *Vague sets are intuitionistic fuzzy sets*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 79, No. 3, pp. 403-405, 1996.
- [13] F. Smarandache, *A unifying field in logics, Neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic*. Rehoboth: American research press, 1999.
- [14] H. Wang, F. Smarandache, Y. Zhang, and R. Sunderraman, *Single valued neutrosophic stes*, Multispace and multistructure, Vol. 4, pp. 410-413, 2010.
- [15] H. Wang, F. Smarandache, Y. Q. Zhang, and R. Sunderraman, *Interval neutrosophic stes and logic: Theory and applications In computing*, Hexis, Phoenix, Ariz, USA, 2005.
- [16] J. Ye, *A multicriteria decision-making method using aggregation operators for simplified neutrosophic sets*, JI. of Intelligent and Fuzzy Systems, 2013, doi:10.3233/IFS-130916.

---

## 구간값 뉴트로소픽 집합을 이용한 시스템의 신뢰도 분석

조상엽

청운대학교 인터넷학과

---

요 약

시스템의 신뢰도를 다루는 다양한 많은 방법들이 있다. 퍼지집합 이론은 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법들 중에 한 가지 이다. 퍼지집합 이론에서 소속값  $\mu_A(x)$ 는 실수로 표현한다. 여기에서  $\mu_A(x) \in [0, 1]$ . 퍼지집합의 소속값은 종종 실수로 표현할 수 없게 된다. 왜냐하면 소속값 자체가 모호하기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 구간값 퍼지집합이 소개되었다. 구간값 퍼지집합에서는 소속값  $\mu_A(x)$ 는 구간으

로 표현한다. 여기에서  $\mu_A(x) \subseteq [0, 1]$ . 어떤 영역에서는 증거가 지지하는 참 소속함수  $t_A(x)$ 와 증거가 지지하지 않는 거짓 소속함수  $f_A(x)$ 의 개념을 필요로 한다. 여기에서  $t_A(x), f_A(x) \in [0, 1]$ . 이러한 개념을 다루기 위해 직관 퍼지집합이 제안되었다. 기존의 집합, 퍼지집합, 구간값 퍼지집합, 직관 퍼지집합들은 정보의 불완전함을 다룰 수는 있지만 불확정성을 다룰 수는 없다. 본 연구에서 구간값 뉴트로소픽 집합에 기반을 둔 시스템의 신뢰도를 평가하는 새로운 방법을 제안한다. 구간값 뉴트로소픽 집합은 중립성의 성질을 다룰 수 있는 뉴트로소픽 집합의 한 부분이다. 구간값 뉴트로소픽 집합에서는 세 가지의 구성요소를 가진다. 즉, 참 소속함수  $T_A(x)$ , 불확정 소속함수  $I_A(x)$  그리고 거짓 소속함수  $F_A(x)$ 이다. 여기에서  $T_A(x), I_A(x), F_A(x) \subseteq [0, 1]$ . 그러므로 구간값 뉴트로소픽 집합의 불확정 소속함수  $I_A(x)$ 에 기반을 둔 불확정성을 다루는 것이 가능하게 된다. 제안한 방법은 불확정성 개념을 가지고 있는 시스템의 신뢰도를 분석하는데 사용할 수 있다.



**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 Internet at Chungwoon University, Incheon, Korea. He has been invited the publicity chair and received 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