

퍼지이론을 이용한 전문가 의견 도출법과 FMECA 전문가시스템

김동진*, 변용태*, 김형철**, 김진오*
 한양대학교*, 철도기술연구원**

Expert Opinion Elicitation and Expert System for FMECA using Fuzzy Theory

Dong-Jin Kim, Jin-O Kim
 Department of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) evaluates criticality and severity of each failure mode. Generally, those indices are determined subjectively by experts and operators. However, this process has no choice but to include uncertainty. In this paper, a method for eliciting expert opinions considering its uncertainty is proposed to evaluate the criticality and severity. In addition, a fuzzy expert system is constructed to determine the crisp value of risk level for each failure mode. The results are worth considering while deciding the proper policies for each component of the system.

1. 서 론

고장모드 및 임계분석(FMECA : Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis)은 고장모드의 발생빈도에 대한 지표인 치명도(Criticality)와 고장모드가 시스템에 미치는 영향에 대한 지표인 심각도(Severity)를 평가하여 우선적인 고장모드들을 선정하고 각 고장모드에 대한 적절한 유지보수 작업을 결정하는데 중요한 도구로 활용된다[1,2].

본 논문에서는 전력계통의 전문가들에 의해 치명도와 심각도의 결정이 이루어지는 상황을 가정하였다. 또한, 여러 명의 의견을 수렴하는 문제와 여기서 발생할 수 있는 불확실성(uncertainty)의 효과적인 처리를 위해 Linear Opinion Pool(LOP)에 퍼지집합 이론(Fuzzy Set Theory)을 활용하는 방식을 제안하였다.

또한, 전통적으로 치명도와 심각도를 행렬형태로 표현하던 방식에서 벗어나 의사 결정자의 판단논리를 모델링한 퍼지 전문가 시스템을 구축함으로써 치명도와 심각도를 단일값인 위험도(RI : Risk level)로 표현하는 방식을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 Fuzzy Expert Opinion Elicitation

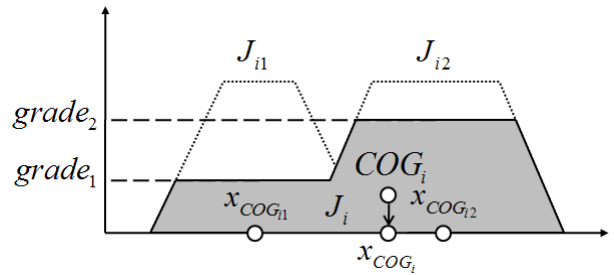
의사결정이 전문가 집단의 의견을 종합해서 이루어지는 것을 집단 의사 결정 문제라 하며 특히 전문가들의 의견을 이용하는 경우 전문가 문제라 한다. 가장 간단한 전문가 문제의 해결 방법으로는 LOP가 사용된다[3]. 본 논문에서는 LOP의 기본적인 개념을 이어받아 불확실성의 효과적인 처리를 위해 퍼지집합 이론을 결합한다. 전문가들의 견해는 식 (3)을 이용하여 종합할 수 있으며, 이를 Proposed Linear Opinion Pool(PLOP)이라 정의한다. 또한 각 평가자들의 평점의 계산으로는 식 (4)를 이용한다.

$$J_i = \sum_{j=1}^{pop} grade_j \odot J_{ij} \tag{1}$$

$$grade_j = \sum_{k \in C} s_{jk} / \sum_{k \in C} \max\{s_k\} \tag{2}$$

여기서, pop는 참여한 전문가의 수, grade_j는 j번째 전문가의 가중치, J_{ij}는 j번째 전문가의 i번째 고장모드에 대한 퍼지화된 견해, J_i는 i번째 고장모드의 퍼지화된 결론, s_k는 k요소에 대한 배당점수를 의미한다. 특히 수식 (1)의 새로운 연산자인 ⊙는 해당 퍼지 레벨을 grade_j값으로 잘라내는 연산을 의미하며 그림 1에 개념을 나타내었다.

그림 1에서 각 레벨은 grade₁과 grade₂로 제한되어 있으며 퍼지 연산에 의해 더해져 i번째 설비에 대한 전문가들의 견해를 도출하게 된다. 또한 무게중심법을 이용한 비퍼지화를 통하여 각 고장모드의 치명도와 심각도를 결정한다. 무게중심법은 수식 (3)와 같이 나타낼 수 있다[4].

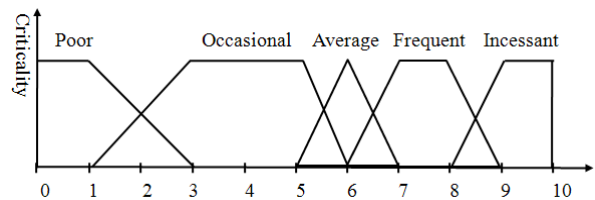


〈그림 1〉 연산자와 무게중심법의 개념

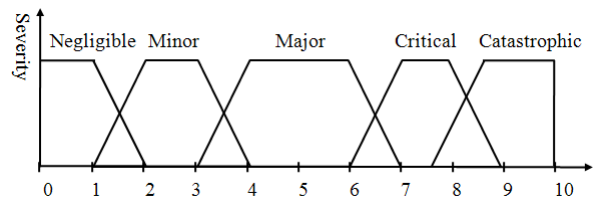
$$x_{COG_i} = \frac{\int x \cdot m_i(x) dx}{\int m_i(x) dx} \tag{3}$$

여기서, m_i는 i번째 고장모드의 FLOP 결론의 다각형 형태의 영역을 의미하며 x는 가로축을 의미한다. 한편 COG_i는 i번째 고장모드의 무게중심을 x_{COG}는 i번째 고장모드의 비퍼지화 결과를 의미하는 무게중심의 x좌표가 된다.

고장모드의 치명도와 심각도를 위한 퍼지 변수 공간을 의사 결정자(DM : Decision Maker)의 필요에 유연하게 변경하여 이용할 수 있도록 사다리꼴과 삼각형 형태를 이용하여 그림 2와 3처럼 멤버십함수를 구성하였다.



〈그림 2〉 치명도의 멤버십함수



〈그림 3〉 심각도의 멤버십 함수

2.2 Fuzzy Expert System

퍼지집합 이론에 기반으로 퍼지 논리는 인간의 추론 방식을 모델링하는 기법으로서 발전되어 왔다. 퍼지 전문가 시스템은 IF-THEN 규칙을 이용한 시스템으로서 전문가의 판단 논리 구현에 강점을 갖는다. 기본적인 퍼지 전문가 시스템의 구성을 그림 4에 나타내었다[5].

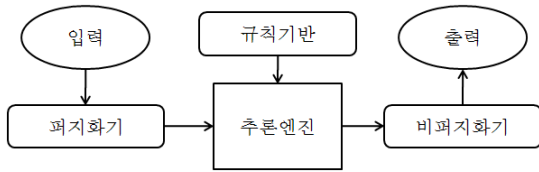
본 논문의 PLOP의 방법에 따르면, 각 고장모드의 치명도와 심각도는 전문가들의 의견을 종합한 퍼지상태로 존재하기 때문에 퍼지화과정 없이도 규칙기반에 따라서 추론이 가능하다. 앞서 치

<표 4> 전문가 데이터와 평가등급

번호	직위	경력	학력	나이	grade	주변압기		단권변압기		차단기		단로기	
						치명도	심각도	치명도	심각도	치명도	심각도	치명도	심각도
1	Professor	20-	Doctor	50's	1.00	Oc	Ct	Av	Ct	Av	Mn	In	Mn
2	Professor	16-20	Doctor	50's	0.95	Av	Cr	Oc	Mj	Fq	Mn	Fq	Ng
3	Professor	20-	Master	50's	0.95	Po	Cr	Po	Cr	Av	Mn	In	Ng
4	Professor	16-20	Doctor	40's	0.90	Oc	Cr	Oc	Cr	Av	Mj	Fq	Ng
5	Vice-professor	11-16	Doctor	50's	0.85	Oc	Cr	Oc	Cr	Oc	Mn	In	Mn
6	Vice-professor	20-	Master	30's	0.80	Oc	Cr	Po	Ct	Av	Mn	Fq	Mj
7	Instructor	20-	Bachelor	50's	0.80	Oc	Cr	Po	Cr	Fq	Mj	Fq	Mj
8	Instructor	16-20	Master	40's	0.75	Po	Ct	Po	Cr	Av	Mn	Fq	Ng
9	Instructor	11-16	Master	40's	0.70	Av	Cr	Oc	Ct	Fq	Mj	Oc	Mn
10	Primary	16-20	Master	30's	0.65	Fq	Cr	Oc	Cr	Fq	Mn	Av	Mj

명도와 심각도를 5개의 공간으로 구분하였기 때문에 총 25개의 규칙기반이 요구된다. 본 논문에서 사용된 규칙기반을 표 3에 나타내었다. 여기서, 출력변수인 위험도의 멤버십함수는 그림 5와 같이 구성하였다.

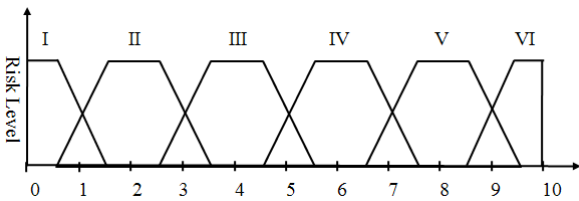
있으며 표 6에 전체 결과를 함께 나타내었다. 결과를 보면 변압에 직접적인 영향을 주는 주변압기와 단권변압기가 설비간의 연결을 담당하는 차단기와 단로기에 비해 상대적으로 높은 위험도를 갖는 것을 확인 할 수 있다.



<그림 4> 퍼지 전문가 시스템

<표 5> 위험도 계산과정의 논리전개 (주변압기)

치명도		심각도		위험도	
범주	grade	범주	grade	범주	grade
Po	0.95	Cr	0.95	IV	0.95
Po	0.95	Ct	1.00	IV	0.95
Oc	1.00	Cr	0.95	IV	0.95
Oc	1.00	Ct	1.00	IV	1.00
Av	0.95	Cr	0.95	V	0.95
Av	0.95	Ct	1.00	V	0.95
Fq	0.65	Cr	0.95	V	0.65
Fq	0.65	Ct	1.00	VI	0.65



<그림 5> 위험도의 멤버십 함수

<표 6> 최종 결과

	주변압기	단권변압기	차단기	단로기
치명도	4.0990	3.2805	5.2165	6.1038
심각도	8.2298	6.7027	3.9813	3.2113
위험도	7.3036	6.0195	4.0455	5.0765

<표 3> 규칙기반

	Po	Occ	Av	Fq	In
Ng	I	II	III	III	IV
Mn	II	II	III	IV	IV
Mj	III	III	IV	IV	V
Cr	IV	IV	V	V	VI
Ct	IV	IV	V	VI	VI

3. 사 례 연 구

철도변전시스템의 주요한 4가지 설비에 대한 평가를 수행하였다. 단, 각 설비에는 한 가지 고장모드만 존재한다고 가정하였다. 치명도와 심각도에 대한 전문가의 견해를 신상 정보와 함께 표 4에 나타내었다.

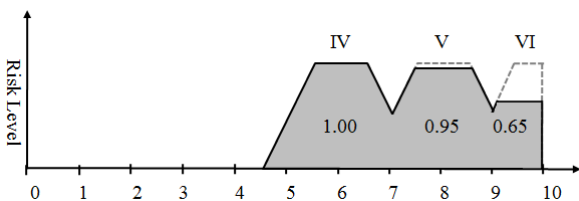
주변압기에 대한 평가과정의 전체적인 절차를 표 5에 대표적으로 나타내었다. 1-2열은 치명도와 심각도에 대한 전문가의 평가를 종합한 결과에 해당하며, 3열은 각 행의 치명도와 심각도의 조합에 해당하는 규칙에 의한 위험도 범주를 나타낸다. 여기서 위험도는 IV-VI의 레벨을 갖는 것을 확인할 수 있으며 레벨에 따라 퍼지 최대 연산을 수행하면 그림 6의 결과를 얻을 수 있다. 끝으로 이 결과를 비퍼지화 함으로써 표 6의 최종결과를 얻는다. 앞선 연산을 반복하여 다른 설비를 역시 위험도를 평가할 수

4. 결 론

본 논문에서는 전문가 의견 도출법과 전문가 시스템에 있어서의 퍼지이론 도입을 제안하였다. 퍼지이론을 절절하게 응용함으로써 여러 전문가들의 의견수렴에서 옳수 있는 불확실함에 대한 처리방법을 제시할 뿐만 아니라, 위험도와 심각도를 종합적으로 평가하는 전문가 시스템이 의사 결정자의 관심사에 따라 유연하게 적용할 수 있도록 하고 있다. 비록 사례연구에 있어서 한 가지 고장모드만이 존재한다고 가정하여 개개의 고장모드에 대한 분석까지 이루어지지는 않았으나, 사례연구의 결과는 본 방법론의 발전가능성과 넓은 적용분야에 대한 가능성을 보여주고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Neil Bloom, (2005), "Reliability-Centered Maintenance (RCM)", McGraw-Hill.
- [2] MIL-STD 1629A, Reliability-Centered Maintenance, US Department of Defense, Washington DC 20301.
- [3] Bilal M. Ayyub, (2001), Elicitation of Expert Opinions for Uncertainty and Risks, CRC Press.
- [4] David J. McGill. (1985), "Engineering Mechanics: An Introduction to Statics and Dynamics" PWS Engineering.
- [5] Moti Schneider, (1996), "Fuzzy expert system tools", Wiley.



<그림 6> 위험도의 퍼지상태 결론 (주변압기)