

# 엔트로피법과 Fuzzy ELECTRE III를 이용한 고장모드영향분석

류시욱\*

\*한중대학교 경영학과

## Failure Modes and Effects Analysis by using the Entropy Method and Fuzzy ELECTRE III

Si Wook Ryu\*

\*Dept. of Business Administration, Hanzhong University

### Abstract

Failure modes and effects analysis (FMEA) is a widely used engineering tool in the fields of the design of a product or a process to improve its quality or performance by prioritizing potential failure modes in terms of three risk factors—severity, occurrence, and detection. In a classical FMEA, the risk priority number is obtained by multiplying the three values in 10 score scales which are evaluated for the three risk factors. However, the drawbacks of the classical FMEA have been mentioned by many previous researchers. As a way to overcome these difficulties, this paper suggests the ELECTRE III that is a representative technique among outranking models. Furthermore, fuzzy linguistic variables are included to deal with ambiguous and imperfect evaluation process. In addition, when the importances for the three risk factors are obtained, the entropy method is applied. The numerical example which was previously studied by Kutlu and Ekmekçioğlu(2012), who suggested the fuzzy TOPSIS method along with fuzzy AHP, is also adopted so as to be compared with the results of their research. Finally, after comparing the results of this study with that of Kutlu and Ekmekçioğlu(2012), further possible researches are mentioned.

**Keywords :** Fuzzy FMEA, Outranking Model, Entropy Method, Fuzzy ELECTRE III

### 1. 서론

고장모드영향분석은 제품이나 시스템, 혹은 서비스 등으로부터 설계, 공정분석 등의 과정에서 잠재고장모드를 발견하고 개선하기 위한 체계적인 분석도구이다. 다시 말하면, 고장모드영향분석은 다수의 잠재고장모드(PFM: potential failure mode)들을 발견하고 이들 중에서 우선적으로 개선해야할 대상을 중요도라는 정량화된 지표로 우선순위화한다.

그리고 한정된 자원을 개선활동에 할당하는 계획을 수립하고, 개선활동을 수행 한 후, 개선 전후의 효과를

비교하는 도구라고 할 수 있다.

고장모드영향분석의 절차를 보면, 다기준 의사결정문제(MCDM: multi-criteria decision making problem)의 평가기준에 해당하는 위험요인들(risk factors), 즉 심각도(S: severity), 발생도(O: occurrence), 검출도(D: detection)의 세 기준에 대해 각 잠재적 고장모드의 위험수준을 1에서 10점 사이의 값으로 평가하고 세 위험요인의 최종적 결과는 아래와 같이 세 값을 단순히 곱하여 위험우선순위 값(RPN: risk priority number)을 구하여 종합적인 위험수준을 계량화하고 있다.

†Corresponding Author: Si Wook Ryu,

Dept. of Business Administration, Hanzhong University,  
M-P: 010-8450-4852, E-mail: swkryu@hanzhong.ac.kr

Received: October 20, 2014; Revised: November 15, 2014; Accepted: December 15, 2014

$$RPN = S \times O \times D$$

이 고전적인 방법은 세 위험요인들 간의 중요도의 차이를 반영하지 못한다거나, 다수 평가자의 평가결과를 취합하는데 어려움이 있다거나, 주어진 정보가 부정확하거나 모호한 경우 평가를 확실적으로 수행하기 곤란한 점 등의 문제가 있음을 Chang et al.(1999)과 Braglia(2000)는 지적한 바 있다. 이후 다기준 의사결정기법들의 장점을 이용하여 위와 같이 제기된 문제점들을 보완하려는 연구들이 시도되었다.

먼저, Chang et al.(1999)와 Chang et al.(2001)은 grey theory를 고장모드영향분석에 적용하는 방안을 제안하였다. 한편, Braglia et al.(2003)은 퍼지 TOPSIS(technique for order preference by similarity to ideal solution)를 이용하는 방법을 제안하고 이를 기계부품의 고장모드영향분석에 활용하였다. 그러나 이러한 연구들은 세 위험요인의 중요도를 처음에는 동일한 것으로 가정하여 구하였고, 나중에 단순히 다른 값으로 주어진 경우에 RPN이 달라질 수 있음을 보여주는 것에 한정되어 있었다. 세 위험요인의 중요도를 구하는 과정을 전체 평가과정의 한 부분으로 포함을 시도하는 연구로는 Hu et al.(2009)와 Kutlu & Ekmekcioğlu(2012)의 연구가 대표적이다. Hu et al.(2009)은 세 위험요인에 대해 퍼지 AHP(analytic hierarchy process)를 이용하여 중요도를 구하고 잠재고장모드들에 대해서도 퍼지 AHP를 적용하여 우선순위를 구하는 방안을 제안하였다. Kutlu & Ekmekcioğlu(2012)는 세 위험요인의 중요도를 구하는 과정에서는 퍼지 AHP를 적용하고 잠재고장모드들에 대해 종합적인 평가를 수행하는 과정에서는 퍼지 TOPSIS를 이용하는 방안을 제안하였다. 이들의 연구는 다수의 평가자에 의한 평가, 언어적 변수에 의한 퍼지개념의 사용 그리고 세 위험요인을 평가과정에 포함시킴으로써 보다 더 의사결정자의 정확한 평가가 반영되도록 한 점에서 의의가 있다. 그리고 이들은 연구결과에서 자신들의 평가방법과 다른 평가방법들, 예를 들어 퍼지 ELECTRE(elimination and choice translation reality), 퍼지 PROMETHEE(preference ranking organization method for enrichment evaluations), 퍼지 VIKOR 등을 적용하였을 때 그 결과의 비교에 관한 연구의 가능성을 언급하기도 하였다.

본 연구는 Kutlu & Ekmekcioğlu(2012)의 연구에서도 지적하였듯이, 고장모드영향분석의 분야에서 한계를 보완하고자 시도되고 있는 다기준 의사결정기법의 적용을 퍼지 ELECTRE III를 이용하는 범위로 확장하고자 하는 것이 첫 번째 연구의 목표이며, 그

결과를 기존의 Kutlu & Ekmekcioğlu(2012)가 수행한 결과와 비교하여 결과에 있어 그들의 연구와 어떤 차이가 있는지를 탐색하는 것을 두 번째 목표로 삼는다.

## 2. 기존 연구

앞에서 언급한 것처럼 고전적인 고장모드영향분석이 갖는 한계를 보완하고자 퍼지개념을 도입하려는 연구들이 최근에 많이 시도되었다. 이러한 연구들은 크게 두 가지 방향에서 이루어져 왔다. 하나는 퍼지 룰 기반 접근법(fuzzy rule-based approach)이고 나머지 하나는 다기준 의사결정기법에 의한 접근법이다.

Xu et al.(2002)은 세 위험요인 S, O, D를 퍼지로 표현된 언어변수로 평가하고, RPN의 최종 계산은 퍼지 룰 기반의 추론과정을 통해 수행하는 연구를 수행하였다. Kumru & Kumru(2013)은 같은 방법을 적용하여 공공의료의 구매 프로세스의 개선을 위한 고장모드영향분석에 활용하기도 하였다.

한편, 다기준 의사결정기법을 적용한 고장모드영향분석은 Chang et al.(1999)과 Braglia et al.(2003) 등이 grey theory, AHP, TOPSIS 등을 중심으로 먼저 연구하였고 후에 퍼지개념으로 확장하고 발전시켰다. 이와 관련한 연구들은 앞 장에서 살펴본 바와 같이 Braglia et al.(2003), Hu et al.(2009), Kutlu & Ekmekcioğlu(2012) 등의 연구가 대표적이다.

다기준 의사결정기법은 크게 세 가지 유형으로 나눌 수 있다. 하나는 가치측정모델(value measurement model)로써 다속성 효용이론(multi-attribute utility theory), AHP 등이 여기에 해당한다. 두 번째는 목표, 열망 및 참조수준모델(goal, aspiration and reference level model)로써 목표계획법(goal programming), TOPSIS 등이 여기에 해당한다. 마지막으로 우선순위모델(outranking model)로써 대표적인 기법으로 PROMETHEE, ELECTRE 등이 있다.

지금까지 고장모드유형분석에 주로 사용된 다기준 의사결정기법들이 AHP나 TOPSIS와 같은 가치측정모델 또는 목표, 열망 및 참조수준모델인 점을 감안할 때, 우선순위모델을 적용한 연구들은 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 우선순위모델의 대표적인 방법인 ELECTRE의 한 변형인 ELECTRE III를 적용하는 방안을 제시하고자 한다. 이때, 평가 과정의 모호성, 불확실성 등을 반영할 수 있도록 언어적 변수를 사용하고 이를 퍼지의 개념으로 분석하는 방법을 제안하고자 한다.

ELECTRE는 대안집합이 주어졌을 때, 최선의 대안

을 선택하는 방법으로 1965년에 처음 개발되었고, Benayoun et al.(1966)이 이를 ELECTRE I이라고 명명하였고 이후 Roy & Bertier(1973)가 ELECTRE II, Roy(1978)가 ELECTRE III를 발표하면서 문제의 상황에 따라 다양한 버전들이 개발되어왔다. Figueira et al.(2013)는 지금까지 개발된 ELECTRE 방법들을 소개하고 최근의 확장된 버전들을 소개하기도 하였다. 이들의 연구에서 보면, ELECTRE I은 선택형 문제, ELECTRE II와 III는 우선순위 문제, ELECTRE TRI는 정렬 문제에 적합한 것으로 소개하고 있다.

최근의 ELECTRE와 관련한 연구들을 보면, 먼저 Giannoulis & Ishizaka(2010)은 영국 대학평가를 위한 웹기반 의사결정지원시스템을 개발하고 평가자들이 언어적 평가를 하면 이를 ELECTRE III의 절차에 따라 우선순위를 산출하는 문제를 다루었다. 그리고 Liu & Zhang(2011)은 공급자를 선정하는 문제에 엔트로피법을 이용하여 평가기준들의 중요도를 구하고 대안들의 평가는 ELECTRE III를 이용하는 방법을 제안하였다. 그러나 위의 두 연구는 퍼지의 개념을 포함하지 않고 있으며, Liu & Zhang(2011)의 경우는 단일의 의사결정자가 정량적인 평가를 한 후 대안들의 우선순위를 구하는 방법을 제시하였다. 한편, 퍼지 ELECTRE의 개념은 Sevkli(2010)에 의해 처음 소개되었는데, 그는 공급자 선정의 문제에 대해 퍼지 ELECTRE의 방법론을 개발하고 이를 적용하였다. 본 연구는 Sevkli(2010)이 처음 제시했던 퍼지 ELECTRE를 퍼지 ELECTRE III로 확장하고 이를 고장모드영향분석의 문제에 적용하고자 한다.

### 3. 연구방법

#### 3.1 퍼지집합

퍼지집합은 정보가 모호하거나 부정확할 때, 이러한 개념을 반영할 수 있도록 기존의 집합이론을 확장한 개념이다(Zadeh, 1965). 퍼지집합은 최근 평가와 관련된 의사결정 과정에서 발생하는 모호성, 부정확성을 효과적으로 다루는 방법으로 적용의 범위를 점점 더 넓혀가고 있다. 본 연구에서는 평가과정에서 퍼지의 개념을 다루기 위해 모든 퍼지 수들의 소속도 함수는 퍼지삼각수(fuzzy triangular number)를 따른다고 가정한다. 만일 퍼지 수를  $\tilde{n} = (l, m, u)$  로 정의할 수 있을 때, 퍼지 수  $\tilde{n}$ 의 소속도 함수  $\mu_{\tilde{n}}(x)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l < x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m < x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (1)$$

한편, 두 퍼지 수  $\tilde{m} = (l_1, m_1, u_1)$  와  $\tilde{n} = (l_2, m_2, u_2)$  그리고 실수  $r$ 이 주어졌다면, 두 퍼지 수는 다음과 같은 산술 계산이 가능하다.

$$\tilde{m} \oplus \tilde{n} = [l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2] \quad (2)$$

$$\tilde{m} \ominus \tilde{n} = [l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2] \quad (3)$$

$$\tilde{m} \otimes r = [l_1 r, m_1 r, u_1 r] \quad (4)$$

$$\tilde{m} \otimes \tilde{n} = [l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2] \quad (5)$$

#### 3.2 평가절차

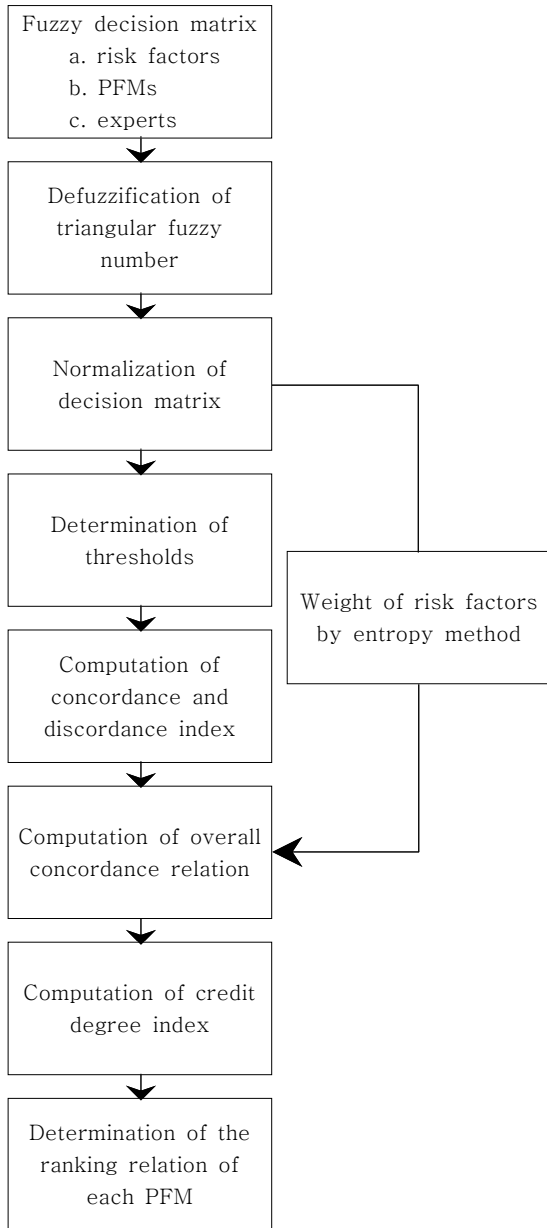
본 논문에서 엔트로피 가중치와 퍼지 ELECTRE III를 적용하여 고장모드영향분석을 수행하고자 하는 절차는 <Figure 1>과 같다. 이에 대한 세부적인 절차는 3.3절과 3.4절에서 설명한다. 고장모드영향분석을 위한 평가자들의 언어적 평가와 퍼지 수는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Fuzzy linguistic expressions for PFMs and the scores used by Kutlu & Ekmekcioglu(2012)

Linguistic terms	Fuzzy score
Very poor (VP)	(0, 0, 1)
Poor (P)	(0, 1, 3)
Medium poor (MP)	(1, 3, 5)
Fair (F)	(3, 5, 7)
Medium good (MG)	(5, 7, 9)
Good (G)	(7, 9, 10)
Very good (VG)	(9, 10, 10)

#### 3.3 의사결정문제의 표현과 엔트로피법

의사결정행렬이 주어진 경우에는 Saaty가 제안한 쌍대비교 행렬법보다는 엔트로피법이나 LINMAP(linear programming technique for multi-dimensional analysis of preference)을 이용하여 가중치를 많이 구하고 있다(김성현 1988).



[Figure 1] Procedure of fuzzy ELECTRE III

고장모드영향분석을 위해  $m$ 개의 잠재고장모드 즉,  $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ 과 심각도, 발생도, 탐지도의 중요도를 나타내는  $W = (w_1, w_2, w_3)$ 가 있다고 가정할 때, 각각의 잠재고장모드들에 대해 언어적 평가를 수행한 후의 값을 비퍼지화한 의사결정행렬  $X$ 의 요소 값  $x_{ij}$ 가  $i^{th}$  잠재고장모드에 대한  $j^{th}$  위험요소에 대한 값, 즉  $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 과 같이 나타낼 수 있다고 하면, 엔트로피의 중요도는 다음과 같은 절차로 구할 수 있다.

단계 1. 의사결정행렬을 다음과 같은 식을 이용하여 정규화한다.

$$R = [r_{ij}] \quad (6)$$

이 때,  $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$ , ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, 3$ )

단계 2. 정보의 불확실성을 측정하는 엔트로피를 다음 식을 이용하여 구한다. 엔트로피는 데이터가 퍼져있는 정도가 클수록 불확실성은 더욱 커진다는 것을 나타낸다. 먼저, 세 위험요인에 대한 의사결정 정보는 다음과 같은 엔트로피 값으로 표현된다.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln r_{ij}, \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, 3) \quad (7)$$

이때,  $K = 1/\ln m$ .

단계 3. 위험요인  $j$ 에 의해 제공되는 정보의 다양함의 정도(degree of diversification)  $d_j$ 는

$$d_j = 1 - E_j, \quad (j = 1, 2, 3) \quad (8)$$

단계 4. 마지막으로 엔트로피 중요도  $w_j$ 는

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad (j = 1, 2, 3) \quad (9)$$

### 3.4 퍼지 ELECTRE III

본 논문에서는 퍼지 ELECTRE III의 과정을 다음과 같이 적용한다.

단계 1.  $K$ 명의 평가자로 구성된 전문가 패널(즉,  $D_1, D_2, \dots, D_K$ )이 세 위험요인( $j = 1, 2, 3$ )—심각도, 발생도, 탐지도— 각각에 대해 그리고 잠재고장모드들 ( $i = 1, 2, \dots, m$ )에 대해 <Table 1>과 같은 언어적 평가표를 이용하여 평가를 수행한다.

단계 2. 이전 단계에서 평가자들이 개별적으로 수행한 선호평가로부터 다음과 같은 그룹 선호의 퍼지 수로 변환한다.

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{X}_{ij}^1 \oplus \tilde{X}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{X}_{ij}^K], \quad \forall i, j \quad (10)$$

단계 3. 그룹 선호 퍼지 삼각수를  $\tilde{x}_{ij} = (x_1, x_2, x_3)$ 라 하면 다음의 식을 이용하여 비퍼지화(defuzzification)한다.

$$x_{ij} = \frac{x_1 + 4x_2 + x_3}{6}, \quad \forall i, j \quad (11)$$

단계 4. 세 위험요인들에 대한 중요도는 3.3절에서 언급한 엔트로피법에 따른 식(6)~(9)를 이용하여 구한다.

단계 5. 역치(threshold) 값들은 Liu & Zhang(2011)이 사용한 방법을 적용한다.

단계 5-1. (무차별 역치(undifferentiated threshold)  $t_j^U$ ) 위험요인  $f_j$ 에 대해, 잠재고장모드  $p_i$ 와  $p_k$ 의 속성 값의 차이가  $t_j^U$ 보다 크지 않을 때, 즉,  $r_{ij} + t_j^U \geq r_{kj}$ 이고  $r_{kj} + t_j^U \geq r_{ij}$ 일 때, 두 속성 값의 차이는 차이가 없는 것으로 간주된다. 이때,  $t_j^U$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$t_j^U = (\max_{\forall i} x_{ij} - \min_{\forall i} x_{ij}) \times y_1, \quad \forall j \quad (12)$$

이때,  $y_1 \in (0, 1)$ .

단계 5-2. (엄밀히 우월한 역치(strict superior threshold)  $t_j^S$ ) 위험요인  $f_j$ 에 대해, 잠재고장모드  $p_i$ 와  $p_k$ 의 속성 값의 차이가  $t_j^S$ 보다 클 때, 즉,  $r_{ij} \geq r_{kj} + t_j^S$ 일 때는 잠재고장모드  $p_i$ 는 잠재고장모드  $p_k$ 보다 엄밀히 우월한(strict superior) 것으로 간주된다. 만일,  $r_{kj} + t_j^U < r_{ij} \leq r_{kj} + t_j^S$ 이면, 잠재고장모드  $p_i$ 는 잠재고장모드  $p_k$ 보다 약한 우위(weak superior)에 있는 것으로 간주된다.  $t_j^S$ 는 다음 식을 이용하여 구한다.

$$t_j^S = t_j^U \times y_2, \quad \forall j \quad (13)$$

이때,  $y_2 \in (3, 10)$ .

단계 5-3. (기각 역치(rejection threshold)  $t_j^R$ ) 위험요인  $f_j$ 에 대해, 잠재고장모드  $p_i$ 와  $p_k$ 의 속성 값의 차이가  $t_j^R$ 보다 작지 않을 때, 즉,  $r_{kj} \geq r_{ij} + t_j^R$ 일 때, 잠재고장모드  $p_i$ 는 잠재고장모드  $p_k$ 보다 우월한 것으로 간주되지 않는다.  $t_j^R$ 는 다음과 같은 식을 이용하여 구한다.

$$t_j^R = (\max_{\forall i} x_{ij} - \min_{\forall i} x_{ij}) \times y_3, \quad \forall j \quad (14)$$

이때,  $y_3 \in (3, 5)$ .

한편,  $y_1, y_2, y_3$ 의 값은 Liu & Zhang (2011)이 사용한 것과 같은 0.1, 3, 3의 값을 사용한다.

단계 6. 다음의 식을 이용하여 일치의 정도(degree of concordance)  $DC_j(i, k)$ 와 불일치의 정도(degree of discordance)  $DD_j(i, k)$ 를 구한다.

$$DC_j(i, k) = \begin{cases} 1, & \text{if } r_{ij} + t_j^U \geq r_{kj} \\ 0, & \text{if } r_{ij} + t_j^S \leq r_{kj} \\ \frac{(r_{kj} - (r_{ij} + t_j^S))}{(t_j^U - t_j^S)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

$$DD_j(i, k) = \begin{cases} 0, & \text{if } r_{ij} + t_j^S \geq r_{kj} \\ 1, & \text{if } r_{ij} + t_j^R \leq r_{kj} \\ \frac{(r_{kj} - (r_{ij} + t_j^S))}{(t_j^R - t_j^S)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

단계 7. 개별 위험요인에 대해 계산된 일치의 정도를 다음의 식을 이용하여 모든 위험요인을 고려하는 일치 관련성(overall concordance relation)을 계산한다.

$$OC(i, k) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j DC_j(i, k)}{\sum_{j=1}^n w_j} = \sum_{j=1}^n w_j DC_j(i, k) \quad \forall i \quad (17)$$

단계 8. 신뢰 정도 지수를 나타내는 선호관계(outranking relation)는 다음의 식을 이용하여 구한다.

$$\varphi(i, k) = \begin{cases} OC(i, k), & \text{if } DD_j(i, k) \leq OC(i, k), \forall j \\ OC(i, k) \prod_{\substack{j \in J: \\ DD_j(i, k) > OC(i, k)}} \frac{1 - DD_j(i, k)}{1 - OC(i, k)}, & \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

단계 9. 순 우위값(net advantage value)은 다음 식을 이용하여 구한다.

$$\theta_k = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^m \varphi(k, i) - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^m \varphi(i, k), \quad \forall k \quad (19)$$

## 4. 적용 예제

본 논문에서는 Kutlu & Ekmekcioglu(2012)가 자동차 부품의 고장모드영향분석에 적용한 사례의 평가결과를 이용하고자 한다. Kutlu & Ekmekcioglu(2012)는 퍼지 AHP와 퍼지 TOPSIS를 적용하였으나 본 연구에서는 앞 절에서 제안한 퍼지 ELECTRE III를 적용하였을 때, 우선순위의 결과에 어떤 변화가 있는지 함께 탐색해 보고자 한다.

다음 <Table 2>는 Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)가 <Table 1>에서 정의된 언어적 변수들을 이용하여 평가한 퍼지값들이다.

<Table 2> Evaluation in linguistic variables for risk factors with respect to the PFMs by Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)

Potential failure modes	S	O	D
(A) Non-conforming material	F, F, MP	F, MG, MG	G, MG, G
(B) Wrong die	P, MP, MP	VG, G, G	VP, MP, P
(C) Wrong program	MP, P, MP	F, MG, MG	G, MG, G
(D) Excessive cycle time	MP, F, MP	MG, MG, G	G, VG, G
(E) Wrong process	F, F, MP	MG, G, MG	MP, MP, F
(F) Damaged goods	MG, MG, F	VG, VG, VG	VP, MP, P
(G) Wrong part	P, MP, VP	VP, VP, VP	VP, VP, VP
(H) Incorrect forms	VP, VP, P	VP	VP

<Table 3>는 위의 <Table 2>의 값들을 식(10)을 이용하여 평가자들의 의견을 취합한 후 식(11)을 이용하여 비퍼지화한 결과이다.

<Table 3> Evaluation matrix after defuzzification

Potential failure modes	S	O	D
(A)	4.33	6.33	8.22
(B)	2.39	9.50	2.39
(C)	2.39	9.17	1.11
(D)	3.67	6.33	8.22
(E)	4.33	7.61	9.17
(F)	6.33	7.61	3.67
(G)	1.78	9.83	1.78
(H)	0.50	0.17	0.17

한편, 위의 평가행렬을 이용하여 세 위험요인 S, O, D에 대한 중요도를 Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)는 퍼지 AHP를 이용하여 구하였으나 본 연구에서는 엔트로피법을 이용하여 구한다. 식(6)~(9)을 적용한 결과 세 중요도는  $(w_1, w_2, w_3) = (0.247, 0.214, 0.539)$ 로 계산되었다. 참고로, Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)의 경우의 중요도는  $(w_1, w_2, w_3) = (0.468, 0.201, 0.331)$ 이었다.

<Table 4>는 식(12), 식(13), 식(14)를 이용하여 무차별 역치, 엄밀히 우월한 역치, 기각 역치를 구한 결과이다.

<Table 4> Undifferentiated, strict superior, and rejection thresholds for the risk factors

Thresholds	S	O	D
$t_j^U$	0.58	0.97	0.90
$t_j^S$	1.75	2.90	2.70
$t_j^R$	17.50	29.00	27.00

<Table 5>는 세 위험요인에 대해 식(15)를 이용하여 일치의 정도를 구한 후, 식(17)을 이용하여 모든 위험요인을 고려하는 일치 관련성을 계산한 결과이다.

<Table 5> Aggregated concordance relation matrix

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
(A)	1.00	0.79	0.79	1.00	0.95	0.72	0.79	1.00
(B)	0.21	1.00	1.00	0.31	0.21	0.64	1.00	1.00
(C)	0.21	0.89	1.00	0.31	0.21	0.26	1.00	1.00
(D)	0.98	0.79	0.79	1.00	0.93	0.72	0.79	1.00
(E)	1.00	0.90	0.94	1.00	1.00	0.75	0.86	1.00
(F)	0.46	0.90	0.94	0.46	0.46	1.00	0.86	1.00
(G)	0.21	1.00	1.00	0.21	0.21	0.46	1.00	1.00
(H)	0.00	0.14	0.53	0.00	0.00	0.00	0.42	1.00

<Table 6>은 식(16)을 이용해서 위험요인에 대한 불일치의 정도를 구한 후, 식(18)을 이용하여 신뢰도 지수를 나타내는 선호관계를 최종적으로 구한 결과이다.

<Table 6> Fuzzy outranking relation matrix

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
(A)	1.00	0.79	0.79	1.00	0.95	0.72	0.79	1.00
(B)	0.21	1.00	1.00	0.31	0.21	0.64	1.00	1.00
(C)	0.21	0.89	1.00	0.31	0.21	0.26	1.00	1.00
(D)	0.98	0.79	0.79	1.00	0.93	0.72	0.79	1.00
(E)	1.00	0.90	0.94	1.00	1.00	0.75	0.86	1.00
(F)	0.46	0.90	0.94	0.46	0.46	1.00	0.86	1.00
(G)	0.21	1.00	1.00	0.21	0.21	0.46	1.00	1.00
(H)	0.00	0.13	0.53	0.00	0.00	0.00	0.42	1.00

마지막으로 <Table 7>은 식(19)에 의해 구한 순 우위값의 결과이다. 8개의 잠재고장모드들의 우선순위는 E, A, D, F, B, G, C, H의 순으로 나타났다. 이 결과는 Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)에서는 E, A, F, D, B, G, C, H의 순이었으나, 이를 보면 순위 3과 4의 결과가 바뀐 것을 볼 수 있다.

본 연구에서는 세 위험요인의 중요도를 엔트로피법을 이용하였는데, Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)가 퍼지 AHP를 이용해서 구한 중요도를 반영하고 본 연구의 퍼지 ELECTRE III를 적용하여 구한 순 우위값은 <Table 8>과 같다. 결과를 보면 우선순위는 F, E, A, D, B, G, C, H로 Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)의 결과에서는 세 번째 순위였던 F가 가장 높은 우선순위를 갖는 것으로 나타나 결과에 약간의 차이가 있는 것을 볼 수 있다.

<Table 7> The net advantage value

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
2.95	-1.00	-2.10	2.70	3.46	1.54	-1.63	-5.92

<Table 8> The net advantage value when AHP was applied to obtain the weights of the risk factors

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
2.62	-1.15	-1.86	2.15	3.09	3.15	-1.79	-6.22

## 5. 결론

본 연구에서는 고장모드영향분석의 문제를 다루기 위해 다기준 의사결정기법에서 우선순위모델의 대표적인 방법인 ELECTRE III를 퍼지의 개념으로 확장하는 방법을 개발하고 이를 Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)가 사용했던 동일한 문제에 적용하여 제안한 방법의 적용 가능성과 그 결과를 Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)의 결과와 비교를 시도하였다. 그 결과 잠재고장모드들의 우선순위에서 순위 3과 4의 역전이 발견되었다. 다양한 다기준 의사결정기법들은 나름의 절차에 의미를 갖고 개발되었다. 그래서 이들 방법들의 선택에 있어서 우열이나 결과에 대해 옳고 그름을 평가하기는 어렵다. 어떤 평가방법을 선택하거나 개발하는 것은 주어진 문제의 상황에 달려 있고 의사결정자의 판단의 몫이라고 할 수 있다. 고장모드영향분석의 문제와 같이 다수의 잠재고장모드들 중 우선적인 개선의 대상을 발견하는 문제의 경우에는 본 연구에서 제안하는 ELECTRE III의 방법이 잘 들어맞으리라고 판단한다.

향후, Kutlu & Ekmeklioğlu(2012)가 지적하였듯이, 다양한 다기준 의사결정기법들을 적용하였을 때 결과를 서로 비교 검토하거나 다양한 평가 상황에 적합한 방법들을 제안하는 연구들도 가치가 있을 것으로 사료된다.

## 6. References

[1] 김성현, 의사결정론, 영지문화사, 1988.  
 [2] Braglia, M., "MAFMA: Multi-attribute failure mode analysis". International Journal of Quality and Reliability Management, 17, pp. 1017-1033, 2000.  
 [3] Braglia, M., Frosolini, M. and Montanari, R., "Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis". Quality and

Reliability Engineering International, 19, pp. 425-443, 2003.  
 [4] Benayoun, R., Roy, B. and Sussman, N., "Manual de reference du programme electre", Note de synthese et formation, No. 25, Direction Scientifique SEMA, Paris, France, 1966.  
 [5] Buckley, J.J., "Ranking alternatives using fuzzy numbers", Fuzzy Sets Systems, 15(1), pp. 21-31, 1985.  
 [6] Chang, C.-L., Wei, C.-C. and Lee, Y.-H., "Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory", Kybernetes, 28(9), pp. 1072-1080, 1999.  
 [7] Chang, C.-L., Liu, P.-H. and Wei, C.-C., "Failure mode and effects analysis using grey theory", Integrated Manufacturing Systems, 12(3), pp. 211-216, 2001.  
 [8] Figueira, J.R., Greco, S., Roy, B. and Slowinski, R., "An overview of ELECTRE methods and their recent extensions", Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 20, pp. 61-85, 2013.  
 [9] Giannoulis, C. and Ishizaka, A., "A web-based decision support system with ELECTRE III for a personalised ranking of British universities", Decision Support Systems, 48, pp. 488-497, 2010.  
 [10] Hu, A.H., Hsu, C.-W., Kuo, T.-C. and Wu, W.-C., "Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP", Expert Systems with Applications, 36, pp. 7142-7147, 2009.  
 [11] Kumru, M. and Kumru, P. Y., "Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital", Applied Soft Computing, 13, pp. 721-733, 2013.  
 [12] Kutlu, A.C. and Ekmeklioğlu, M., "Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP", Expert Systems with Applications, 39, pp. 61-67, 2012.  
 [13] Liu, P. and Zhang, X., "Research on the supplier selection of a supply chain based on entropy weight and improved ELECTRE-III method", International Journal

- of Production Research, 49(2), pp. 637-646, 2011.
- [14] Roy, B. and Bertier, P., "La method ELECTRE II: une method au media-planning" In: M. Ross ed., Operational research, North Holland, Amsterdam, pp. 291-302, 1973.
- [15] Roy, B., "ELECTRE III: unalgorithme de classements fonde sur une representation flue des preference en presence de criteres multiples", Cahiers de CERO, 20(1), pp. 3-24, 1978.
- [16] Sevkli, M., "An application of the fuzzy ELECTRE method for supplier selection", International Journal of Production Research, 48(12), pp. 3393-3405, 2010.
- [17] Xu, K., Tang, L.C., Xie, M., Ho, S.L. and Zhu, M.L., "Fuzzy assessment of FMEA for engine systems", Reliability Engineering and System Safety, 75, pp. 17-29, 2002.
- [18] Zadeh, L.A., "Fuzzy sets", Information Control, 8, pp. 338-353, 1965.

## 저 자 소 개

류 시 욱



부산대학교 산업공학과 학사,  
석사, 박사  
관심분야: 생산관리, 경영과학,  
불확실성하의 의사결정

주소: 강원도 동해시 지양길 200 한중대학교 경영학과