

퍼지 다기준 의사결정기법을 이용한 위험수준평가

Determination of Risk Level Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Method

정상윤* · 조성구**

Sang-Yun Jung* · Sung-Ku Cho**

Abstract

For any hazardous operation or risky project to be carried out safely and economically, it is of the utmost importance to formulate proper risk management policies based on the rational assessment of the risk levels of various potential hazards.

In this paper, a Fuzzy Multi-Criteria Decision Making(FMCDM) method for risk assessment is proposed.

The method evaluates, on the basis of fuzzy set theory, the risk level of a risky situation by aggregating the assessed levels of risk factors and their subjective weights.

The method also allows some flexibility for the future users in the sense that, first, the relative importance weights for the three risk factors can be adjusted according to the nature of projects or systems and, second, the users have the choice between the two types of risk assessment results, that is, the assessed risk levels or the ranks of the risk situations.

A numerical example for the proposed FMCDM method is provided to illustrate the computational procedure.

To see how the suggested FMCDM method describes well people's perceived risk level, we compared the risk values derived from the suggested method with the subjective risk evaluations for ten risky situations.

1. 서론

산업과 도시환경에 잠재하고 발생하고 있는 위험은 인적과 물적피해를 초래한다. 인적과 물적 피해를 최소화하고 예방하기 위해서는 위험상황에 대하여 정확한 위험평가가 필요하다. 위험에 대한 정확한 평가는 프로젝트나 시스템 사고의 예방과 안전에 있어서 중요하며, 특히 치

명적인 대형사고의 발생가능성이 높은 대규모 장치산업, 항공수송, 핵발전소, 건설분야 등에 있어서는 매우 중요하다.

위험은 바람직스럽지 못한 불확실성의 내포 또는 특정한 위험(hazard)으로부터 생기는 상해와 손실의 가능성 등으로 정의된다[6][9].

기존의 시스템 안전분야에서는 위험요인을 관리하고 위

* 수원과학대학 공업경영과

** 동국대학교 산업공학과

험수준을 분석하기 위하여 많은 연구가 있었다. 분석적 방법인 신뢰성 블록다이어그램, OTA(Objective Tree Analysis), 대화형 행렬기법(Interactive matrices technique), FTA(Fault Tree Analysis), 그리고 THERP (Technique for Human Error Rate Predictive) 등의 구체적 위험평가 기법은 위험요인을 관리하고 위험수준을 계산하기 위한 연산 과정에서 확률을 부과하여 정량화를 시도하고 있다. 그러나 대형 프로젝트나 복잡한 시스템의 많은 위험 상황들은 정량적 자료가 부족하여 정확한 확률 값을 추정하기 어렵거나 불가능하기 때문에 부득이 정성적 자료를 이용하는 것이 타당성이 있다. 따라서 사건이 발생할 확률이 명확하지 않으면 위험분석가들은 흔히 정확한 확률을 부과하는 대신에 '다소 가능성이 있다' 또는 '가능성이 희박하다' 등과 같은 모호하고 부정확한 서술적 표현을 사용하므로 불확실성은 확률보다는 퍼지정도(fuzziness)로 다루어지는 것이 더 적절하다[3][11]. 그리고 위험이란 본질적으로 객관적인 개념보다는 상대적이고 주관적인 개념이므로 위험인식 또한 위험환경과 위험평가자간의 상호작용으로 인식되어야 한다[2]. Fegans[7] 등은 위험이 퍼지개념으로 다루어져야 한다고 했고, Kangari와 Riggs[10]는 퍼지개념을 도입하여 건설프로젝트의 위험수준을 평가하였다.

Fine[8]은 위험 상황에 부과되는 위험요소를 발생가능성(likelihood of occurrence), 위험에 대한 노출정도(exposure), 그리고 결과의 심각성(consequences) 등의 세 가지 요소로 분류하였다. Graham과 Kinney[9]는 위험상황의 평가와 관리를 위한 실질적인 위험분석 시스템을 개발하였다. 이 연구에서는 발생가능성, 위험에 대한 노출정도, 그리고 결과의 심각성 등의 서술적 표현에 수치를 할당하고, 할당된 수치의 곱을 산출하여 미리 제시된 위험 점수와 비교함으로써 위험상황에 대한 위험수준을 결정하였다.

그러나 언어의 서술적 표현은 일반적으로 모호하고 수치적 표현을 찾기가 어렵기 때문에 위험분석가들은 주로 인간의 경험적 판단을 토대로 한다[18].

Karwowski와 Mital[11]은 퍼지 이론이 언어표현을 수치적 표현으로 변환할 수 있다는 점을 이용하여 각 위험 요소에 대한 서술적 표현에 대응되는 퍼지 언어 변수를 개발하였다.

표 1은 Graham과 Kinney가 제시한 각 위험요소의 크기를 분류하는 서술적 표현에 Karwowski와 Mital이 개발한 퍼지 언어변수를 대응시킨 것이다.

본 연구에서는 작업현장과 설비의 위험상황보다 위험 상황이 다양하고, 경험적 자료가 부족하고, 그리고 불확실성이 많은 복잡한 시스템이나 프로젝트의 위험을 평가하기 위해서 Graham과 Kinney가 제시한 위험평가방법을 개선하고자 한다.

Graham과 Kinney 방법은 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째로 각 위험 요소의 서술적 표현에 대응되는 수치를 하나의 값으로 표현하기 때문에 수치의 보편타당성에 문제가 있다.

둘째로 각 위험 요소에 대한 상대적 중요도의 조정이 허용되지 않는다.

셋째로 결과의 심각성 위험요소에 대한 서술적 표현의 분류기준은 인적, 물적 손실인데 이 기준은 금전의 시간적 가치측면에서 절대적 기준이 될 수 없다. 또한 금전적으로 환산하기 어려운 무형적 요소인, 품질, 이미지, 시간 손실 등을 고려하지 않았다는 문제점이 있다.

넷째로 승법 모형 구조(multiplicative model structure)를 사용하기 때문에 어느 한 위험요소의 부적절한 서술적 표현 선정이나 부정확한 수치부여로 인하여 평가된 위험수준에 큰 영향을 미칠 수 있다는 문제점이 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 각 위험요소의 크기선정에 Karwowski와 Mital의 퍼지 언어변수를 이용한다. 또한 발생가능성, 위험에 대한 노출정도, 그리고 결과의 심각성 등 세 가지 위험 요소에 대한 상대적 중요도를 고려하여 퍼지 다기준 의사결정(Fuzzy Multi-Criteria Decision Making ; FMCDM)을 이용한 퍼지 위험평가 방법을 개발하고자 한다. 제안된 방법은 여러 위험상황의 위험수준을 결정하고 또한 위험상황의 순위를 제공함으로써 시스템 또는 프로젝트의 위험 관리 정도와 중점관리 우선 순위 등 적절한 방침을 수립할 수 있다.

그리고 위험상황에 대한 각 위험요소의 평가 측면에서 Graham과 Kinney가 제시한 서술적 표현과 Karwowski와 Mital이 제시한 퍼지 언어 변수와의 차이가 있는지를 설문평가를 통하여 분석한다. 또한 본 논문에서 제안한 퍼지 다기준 의사결정 위험평가 방법이 위험평가자의 주관

표 1. 위험요소의 서술적 표현과 퍼지 언어변수

각 위험요소 위험요소	수준	Graham 과 Kinney 방식		Karwowski 와 Mital의 퍼지언어 변수(값)
		서술적 표현	할당된 수 치	
L (발생가능성)	L ₁	might well be expected	10	very likely
	L ₂	quite possible	6	likely
	L ₃	unusual but possible	3	more or less likely
	L ₄	only remotely possible	1	unlikely
	L ₅	conceivable but highly unlikely	0.5	very unlikely
	L ₆	practically impossible	0.2	very very unlikely
E (노출정도)	E ₁	continuous(many times daily)	10	very high
	E ₂	frequently(once a day)	6	high
	E ₃	occasionally (one per week or month)	3	moderate
	E ₄	monthly(one per month / year)	2	more or less low
	E ₅	rarely	1	low
	E ₆	very rare	0.5	very low
C (결과의 심각성)	C ₁	catastrophe (extensive damage, over \$10 ⁷ ; many fatalities)	100	extremely high
	C ₂	disaster(\$10 ⁶ -10 ⁷ ; multiple fatalities)	40	very high
	C ₃	very serious(\$10 ⁵ -10 ⁶ ; a fatality)	15	high
	C ₄	serious(\$10 ⁴ -10 ⁵ ; serious injury)	7	medium
	C ₅	important(\$10 ³ -10 ⁴ ; disability)	3	more or less medium
	C ₆	noticeable(\$10 ² -10 ³ ; first aid)	1	low

적 판단과 어느 정도 일치하는지를 Graham과 Kinney의 방법과 비교 분석한다.

2. 퍼지 다기준 의사결정을 이용한 위험평가 방법의 개발

본 연구에서는 다음과 같은 퍼지 선형 가중모형 구조를 제안함으로써 Graham과 Kinney의 승법모형의 문제점을 해결한다.

$$F = \frac{1}{3} [W_L \otimes R_L \oplus W_E \otimes R_E \oplus W_C \otimes R_C] \quad (1)$$

W: 위험요소 j의 중요도 퍼지 언어변수값

j ∈ {발생가능성(L), 노출정도(E), 결과의 심각성(C)}

R: 위험요소 j의 도출된 위험정도 퍼지수

j ∈ {L, E, C}

F: 도출된 종합적 위험 수준 퍼지수

⊕: 퍼지합(fuzzy addition)

⊗: 퍼지곱셈(fuzzy multiplication)

위험상황의 종합적 위험수준은 F로부터 유클리드 거리가 최소가 되는 위험치 언어변수 집합에 속하는 퍼지언어 값으로 결정된다.

여기서, 각 위험요소의 중요도 언어변수 집합과 위험수

준을 나타내는 위험치 언어변수 집합이 정의된다. 중요도 언어변수 집합과 위험치 언어변수 집합에서 퍼지언어변수 값의 소속함수는 퍼지수의 형태를 유연성 있게 하기 위해 삼각 퍼지수의 형태로도 표현될 수 있는 사다리꼴 퍼지수를 사용하여 나타낸다. 그리고 각 위험요소의 위험 정도 (R_j)를 계산하기 위하여 각 위험요소의 수준을 나타내는 퍼지언어와 위험치 사이에 소속함수가 필요하다. 제안된 방법의 언어변수 집합과 소속함수 등은 2.1절에서 정의되고 알고리즘은 2.2절에서 자세히 설명된다.

2.1 언어변수와 퍼지관계

언어변수는 상황이 너무 복잡하고 모호하며 정량적으로 표현하기가 어려운 경우에 매우 유용하게 사용되고 쉽게 퍼지수로 나타낼 수 있다[13].

그리고 제안된 방법을 수행하기 위해서 요구되는 중요도 언어변수 집합과 위험치 언어변수 집합, 그리고 각 집합의 언어 변수값의 소속함수가 정의되어야 한다.

중요도 언어변수 집합과 언어변수값 소속함수는 Liang 과 Wang이 설비입지 선정연구에 사용한 방법에 따라 다음과 같이 정의한다[13].

중요도 언어 변수집합 W는 $W = \{VL, L, M, H, VH\}$ 이고 여기서 VL 은 'Very Low', L 은 'Low', M은 'Medium', H 는 'High', 그리고 VH 는 'Very High'를 나타낸다.

중요도 집합 W에 속해있는 언어 변수값의 소속함수는 다음과 같다.

VL : (0, 0, 0, 0.3)

$$f_w(x) = 1 - \frac{10x}{3}, \quad 0 \leq x \leq 0.3$$

L : (0, 0.3, 0.3, 0.5)

$$f_w(x) = \begin{cases} \frac{10x}{3}, & 0 \leq x \leq 0.3 \\ \frac{5}{2} - 5x, & 0.3 \leq x \leq 0.5 \end{cases}$$

M : (0.2, 0.5, 0.5, 0.8)

$$f_w(x) = \begin{cases} \frac{10x}{3} - \frac{2}{3}, & 0.2 \leq x \leq 0.5 \\ \frac{8}{3} - \frac{10x}{3}, & 0.5 \leq x \leq 0.8 \end{cases}$$

H : (0.5, 0.7, 0.7, 1)

$$f_w(x) = \begin{cases} 5x - \frac{5}{2}, & 0.5 \leq x \leq 0.7 \\ \frac{10}{3} - \frac{10x}{3}, & 0.7 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

VH : (0.7, 1, 1, 1)

$$f_w(x) = \frac{10x}{3} - \frac{7}{3} \quad 0.7 \leq x \leq 1$$

여기서 중요도 언어변수 집합과 중요도 언어변수에 해당되는 사다리꼴 퍼지수의 소속함수는 위험상황에 따라 위험 평가자가 적절하게 조정할 수 있다.

그리고 위험치(RV: Risk Value)에 대한 언어변수 집합을 $RV = \{L, M, MLH, H, VH\}$ 로 정의한다. 여기서 L 은 'Low', M 은 'Medium', MLH 는 'More or Less High', H 는 'High', 그리고 VH 는 'Very High'이다. 위험치에 대한 언어변수 집합 RV에 속한 각 언어변수 값의 퍼지수는 다음과 같이 정의한다.

L=(0, 0.3, 0.3, 0.5)

M=(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)

MLH=(0.4, 0.7, 0.7, 0.9)

H=(0.6, 0.8, 0.8, 1)

VH=(0.8, 1, 1, 1)

RV와 W에 속한 퍼지언어 변수 값의 소속함수는 실수 구간[0, 1]에서 정의된다.

또한, 각 위험 요소의 수준과 위험치 사이에 구성된 소속함수는 표 2와 같다. RV에 속한 각 언어변수 값의 소속함수와 각 위험요소의 수준과 위험치 사이에 구성된 소속함수는 위험상황에 따른 위험평가자(분석가)의 합리적 결정에 따라 달라질 수 있다.

표 2는 본 연구에 적용하기 위하여 제안한 것인데 위험상황환경에 따라서 각 위험요소의 수준과 위험치 사이의 소속함수를 적절히 결정하는 문제는 좀 더 실증적인 연구가 이루어져야 할 부분이다.

표 2. 위험요소와 위험치 사이의 퍼지소속함수

위험요소	위험요소수준	위험치				
		L	M	MLH	H	VH
L	L ₁	0	0	0	0.5	1.0
	L ₂	0	0	0.5	1.0	0.5
	L ₃	0	0.3	0.7	0.5	0
	L ₄	0	0.5	0.5	0	0
	L ₅	0.5	0.5	0	0	0
	L ₆	1.0	0	0	0	0
E	E ₁	0	0	0	0.5	1.0
	E ₂	0	0	0.5	1.0	0.5
	E ₃	0	0.5	1.0	0.5	0
	E ₄	0	0.5	0.5	0	0
	E ₅	0.5	0.5	0	0	0
	E ₆	1.0	0	0	0	0
C	C ₁	0	0	0	0	1.0
	C ₂	0	0	0	1.0	0.5
	C ₃	0	0	0.7	0.8	0.5
	C ₄	0	0.5	1.0	0.5	0
	C ₅	0	1.0	0.5	0.5	0
	C ₆	1.0	0.5	0.5	0	0

2.2 제안된 위험평가 모형의 알고리즘

(1) 각 위험요소에 대한 위험정도의 계산

위험상황에 대한 종합적 퍼지 위험치를 구하려면, 우선 각 위험요소의 위험정도를 구하여야 한다. 즉, 발생 가능성, 위험에 대한 노출정도, 그리고 결과의 심각성등의 각 위험요소에 대한 위험정도는 다음과 같이 계산한다.

$$R_{ij} = \frac{1}{\sum_n P_{ijn}} \otimes \left[\sum_{n=l}^{VH} (+) R_{ijn} \oplus P_{ijn} \right] \quad (2)$$

여기서,

i = 위험상황

j = 위험요소(발생가능성, 위험에 대한 노출정도, 결과

의 심각성)

즉, j ∈ {L, E, C}

n = 위험치를 나타내는 언어변수값 즉, n ∈ RV = {L, M, MLH, H, VH}

R_{in} = 위험상황i, 위험요소j의 수준에 대한 위험치n의 퍼지수

P_{in} = 위험상황i, 위험요소j의 수준에 대한 위험치n의 소속함수값(membership function value)

(2) 위험상황의 종합적 퍼지 위험치 계산

계산된 각 위험요소의 퍼지 위험정도에 상대적 중요도를 고려하여 위험상황의 종합적 퍼지 위험치를 구한다. 퍼지평가를 통합하기 위하여 평균(mean), 중위수(median),

최대값(maximum), 그리고 mixed operator 등의 방법이 사용되고 있는데 평균방법이 가장 일반적으로 사용되고 있다[4]. 따라서 본 연구에서는 각 위험요소의 위험정도를 통합하기 위한 방법으로 평균 방법을 이용하고자 한다.

R_j 가 위험상황 i 에 대한 위험요소 j 의 위험정도를 나타내는 계산된 퍼지수라 하고, W_j 는 위험요소 j 에 대한 퍼지 중요도라하면 위험상황 i 의 종합적 퍼지 위험치 F_i 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_i = \frac{1}{3} \left[\sum_{j=L}^C R_{ij} \otimes W_j \right], j \in \{L, E, C\} \quad (3)$$

여기서,

$$R_{ij} = (o_{ij}, p_{ij}, q_{ij}, r_{ij})$$

$$W_j = (a, b, c, d)$$

zadeh[15]가 제안한 확장원리를 응용하면 (3)식에 의해 연산된 사다리꼴 퍼지수는 다음과 같은 근사공식(approximation formula)에 의해서 구할 수 있다.

$$F_i \cong (A_i, B_i, C_i, D_i)$$

여기서,

$$A_i = \sum_{j=L}^C \frac{o_{ij} \cdot a_j}{3}, \quad B_i = \sum_{j=L}^C \frac{p_{ij} \cdot b_j}{3}$$

$$C_i = \sum_{j=L}^C \frac{q_{ij} \cdot c_j}{3}, \quad D_i = \sum_{j=L}^C \frac{r_{ij} \cdot d_j}{3}$$

그러나, 본 연구에서는 다음 단계에서 설명하는 바와 같이 유클리드 거리개념을 이용해서 위험수준을 도출하고자 하기 때문에 위와 같은 방법보다는 가중평균 개념을 가진 다음과 같은 식으로 수정을 해서 퍼지수를 구하는 것이 본 연구의 목적에 더 부합된다.

$$F_i \cong (A_i, B_i, C_i, D_i)$$

여기서,

$$A_i = \frac{\sum_{j=L}^C o_{ij} \cdot a_j}{\sum_{j=L}^C a_j}, \quad B_i = \frac{\sum_{j=L}^C p_{ij} \cdot b_j}{\sum_{j=L}^C b_j}$$

$$C_i = \frac{\sum_{j=L}^C q_{ij} \cdot c_j}{\sum_{j=L}^C c_j}, \quad D_i = \frac{\sum_{j=L}^C r_{ij} \cdot d_j}{\sum_{j=L}^C d_j}$$

(3) 위험상황에 대한 위험정도 순위 및 위험수준 결정 시스템 또는 프로젝트의 많은 위험상황에 대하여 위험관리 정도와 중점관리 우선순위 등 적절한 방침을 수립하기 위하여 위험수준 결정과 위험 순위를 결정하여야 한다.

위험정도 퍼지집합을 순위화 하기 위하여 제안된 많은 방법 중에 GMV(generalized mean value)의 방법은 적용 범위가 넓고 계산이 간편하기 때문에[12] GMV방법을 이용하였다.

종합적 퍼지 위험치 F_i 에 대한 GMV를 구하는 식은 다음과 같다.

$$m(F_i) = \frac{(C_i+D_i)^2 - (A_i+B_i)^2 + A_i \cdot B_i - C_i \cdot D_i}{3 \cdot [(C_i+D_i) - (A_i+B_i)]} \quad (4)$$

큰 GMV가 작은 GMV값보다 더욱더 위험정도가 크므로 중점적인 위험관리가 요구된다. 만일, 위험 상황에 대한 순위 결정보다 위험수준 평가가 목적이면 유클리드(euclidean)거리를 최소화하는 방법을 이용하여 다음과 같이 위험수준을 결정할 수 있다.

$$d(F_i; X) = \left\{ \sum_{k=1}^4 [F_i(k) - X(k)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

여기서,

d : 두 퍼지집합 사이의 유클리드 거리

k : 사다리꼴 퍼지수를 구성하는 원소의 지시변수(indicator variable) 즉, $F_i(1)=A_i, F_i(2)=B_i, F_i(3)=C_i, F_i(4)=D_i$.

F_i : 위험상황 i 에 대한 도출된 종합적 퍼지 위험치

X : 위험치를 나타내는 언어변수값의 소속함수.

$X \in \{L, M, MLH, H, VH\}$ 를 나타낸다.

따라서, $d(F_i; X^*) = \min_X d(F_i; X)$ 이면 퍼지언어변수값 X^* 가 위험상황 i 에 대하여 평가된 위험치라 할 수 있다.

이상에서 설명된 알고리즘을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- 단계1: 각 위험요소(발생가능성, 노출정도, 결과의 심각성)에 대한 상대적 중요도(W_j) 선정
- 단계2: 위험상황 i 에 대한 각 위험요소의 수준 선정
- 단계3: 위험상황 i, 위험요소 j 의 수준에 대한 소속 함수 값 P_{ijn} 결정
- 단계4: 위험상황 i, 위험요소 j 에 대한 퍼지 위험치 R_{ij} 계산
- 단계5: 위험상황 i 에 대한 종합적 퍼지 위험치 F_i 계산
- 단계6: 종합적 퍼지 위험치로 부터 GMV결정: 위험상황의 순위 결정
- 단계7: 위험상황 i의 종합적 위험수준 결정(위험치 집합에 속하는 언어변수값)

표 3. 위험요소의 중요도

위험요소	L	E	C
중요도	M	L	VH

따라서 퍼지 중요도(W_j)는 2.1절에서 정의한 대로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$W_L = (0.2, 0.5, 0.5, 0.8)$$

$$W_E = (0, 0.3, 0.3, 0.5)$$

$$W_C = (0.7, 1, 1, 1)$$

각 위험요소의 상대적 중요도를 고려한 종합적 퍼지 위험평가치를 구하면 다음과 같다.

종합적 퍼지 위험평가치를 $F_Z \cong (A_Z, B_Z, C_Z, D_Z)$ 라 하면

$$A_Z = \frac{1}{0.9} (0.6 \times 0.2 + 0.6 \times 0 + 0.35 \times 0.7) = 0.406$$

$$B_Z = \frac{1}{1.8} (0.825 \times 0.5 + 0.825 \times 0.3 + 0.625 \times 1) = 0.714$$

$$C_Z = \frac{1}{1.8} (0.825 \times 0.5 + 0.825 \times 0.3 + 0.625 \times 1) = 0.714$$

$$D_Z = \frac{1}{2.3} (0.975 \times 0.8 + 0.975 \times 0.5 + 0.875 \times 1) = 0.932$$

$$\therefore F_Z \cong (0.406, 0.714, 0.714, 0.932)$$

종합적 퍼지 위험평가치 F_Z 에 대한 GMV를 구하면

$$m(F_Z) = \frac{(0.714+0.932) \cdot (0.406+0.714)^2 + 0.406 \times 0.714 - 0.714 \times 0.932}{3[(0.714+0.932) \cdot (0.406+0.714)]} = 0.684$$

이다.

또한, 위험상황 Z에 대한 종합적 위험수준을 평가하기 위하여 식(5)을 이용하면 다음과 같다.

$$d(F_Z, L) = [(0.406-0)^2 + (0.714-0.3)^2 + (0.714-0.3)^2 + (0.932-0.5)^2]^{1/2} = 0.8332$$

$$d(F_Z, M) = [(0.406-0.2)^2 + (0.714-0.5)^2 + (0.714-0.5)^2 + (0.932-0.8)^2]^{1/2} = 0.3892$$

2.3 수치예

위험 평가를 위해 제안된 FMCDM 방법에 수치예를 적용하기 위하여 발생 가능성이 L, 노출정도가 E, 그리고 결과의 심각성이 C인 위험상황 L,E,C(Z)인 경우를 고려하기로 한다.

위험상황 Z에 대한 각 위험요소의 위험정도를 계산하면 다음과 같다.

$$R_{ZL} = \frac{1}{0.5+1.0+0.5} \otimes [0.5 \otimes (0.4, 0.7, 0.7, 0.9) \oplus 1.0 \otimes (0.6, 0.8, 0.8, 1) \oplus 0.5 \otimes (0.8, 1, 1, 1)] = (0.6, 0.825, 0.825, 0.975)$$

$$R_{ZE} = \frac{1}{0.5+1.0+0.5} \otimes [0.5 \otimes (0.4, 0.7, 0.7, 0.9) \oplus 1.0 \otimes (0.6, 0.8, 0.8, 1) \oplus 0.5 \otimes (0.8, 1, 1, 1)] = (0.6, 0.825, 0.825, 0.975)$$

$$R_{ZC} = \frac{1}{1+0.5+0.5} \otimes [1 \otimes (0.2, 0.5, 0.5, 0.8) \oplus 0.5 \otimes (0.4, 0.7, 0.7, 0.9) \oplus 0.5 \otimes (0.6, 0.8, 0.8, 1)] = (0.35, 0.625, 0.625, 0.875)$$

위험전문가는 위험요소 즉, 발생가능성(L), 노출정도(E), 그리고 결과의 심각성(C)의 중요도를 표 3과 같이 결정했다고 가정한다.

$$d(F_2, MLH) = [(0.406-0.4)^2 + (0.714-0.7)^2 + (0.714-0.7)^2 + (0.932-0.9)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.0381$$

$$d(F_2, H) = [(0.406-0.6)^2 + (0.714-0.8)^2 + (0.714-0.8)^2 + (0.932-1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.2389$$

$$d(F_2, VH) = [(0.406-0.8)^2 + (0.714-1)^2 + (0.714-1)^2 + (0.932-1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.5687$$

따라서 위험상황 $Z(L, E, C)$ 는 $d(F_2, MLH)$ 가 최소거리 0.0381을 가지므로 위험수준은 MLH(More or Less High)

로 평가된다.

3. 기존 방법과의 비교를 위한 설문분석 및 평가

제안된 방법의 타당성을 검토하기 위하여 설문을 실시하였다. 위험상황에 대한 각 위험요소의 수준을 선정하는데 제안된 방법에서 이용한 Karwowski와 Mital의 퍼지

8. 위험상황
 교통량이 많은 도로에서 한손으로 핸드폰을 사용하고 시속 80km정도로 운전하는 경우의 위험상황(운전차량은 수동차량임)

<문 8-1>
 ① 발생 가능성(L) :
 ② 노출정도(E) :
 ③ 결과의 심각성 (C) :

<문 8-2>
 문 8-1에서 도출된 3가지 위험요소를 고려하여 위험상황에 대한 위험평가 정도를 표 V하여 주시기 바랍니다.

SSR() PR() SR() HR() VHR()

remark: SSR = Some Slight Risk, PR = Possible Risk, SR = Substantial Risk,
 HR = High Risk, VHR = Very High Risk

<문 8-3>
 각 위험요소에 대하여 중요도를 고려하여 위험상황에 대하여 위험 정도를 평가 하였다면 어느 정도 인지 V하여 주시기 바랍니다.(만약 3가지 위험요소에 대한 중요도를 고려하지 않았다면 이 응답은 하지 않으셔도 됩니다.)

(1) 발생가능성(L)의 중요도

VL L M H VH

(2) 노출정도(E)의 중요도

VL L M H VH

(3) 결과 (C)의 중요도

VL L M H VH

remark: VL = Very Low, L = Low, M = Medium, H = High, VH = Very High

그림 1. Graham과 Kinney의 언어서술적 표현을 이용한 설문

언어 변수가 Graham과 Kinney의 서술적 표현과 차이가 있는지 또한 어느 방식이 인식하기가 편리한지를 알아본다. 그리고 본 연구에서 제안한 방법이 위험평가자의 주관적 평가와 어느 정도 일치하는지를 Graham과 Kinney의 방법과 비교 분석한다.

3.1 설문구성 및 목적

설문에는 10가지 위험상황이 제시되었다. 선행연구의

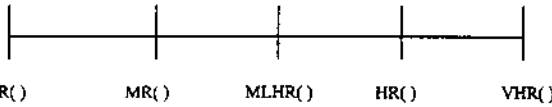
위험상황은 주로 기계, 화학 분야 등의 위험정도를 평가하였으나 본 설문은 피실험자로 부터 보다 정확한 정보를 구하기 위하여 많은 전문지식을 요하지 않는 교통분야와 관련된 위험상황을 선정하였다.

설문은 피실험자에게 10가지 위험상황에 대하여 Graham 과 Kinney의 언어 서술적 표현을 제시하여 각 위험요소의 해당 정도를 선정하고 그것으로부터 종합적 위험정도를 평가하도록 하였다.

8. 위험상황
 교통량이 많은 도로에서 한손으로 핸드폰을 사용하고 시속 80km정도로 운전하는 경우의 위험상황(운전자람은 수동차람임)

<문 8-1>
 ① 발생 가능성(L) :
 ② 노출정도(E) :
 ③ 결과의 심각성 (C) :

<문 8-2>
 문 8-1에서 도출된 3가지 위험요소를 고려하여 위험상황에 대한 위험평가 정도를 표 V하여 주시기 바랍니다.

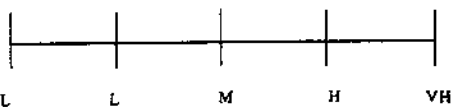


LR() MR() MLHR() HR() VHR()

remark: SSR = Some Slight Risk, PR = Possible Risk, SR = Substantial Risk,
 HR = High Risk, VHR = Very High Risk

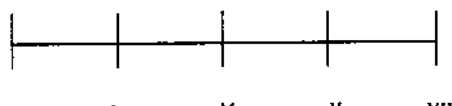
<문 8-3>
 각 위험요소에 대하여 중요도를 고려하여 위험상황에 대하여 위험 정도를 평가 하였다면 어느 정도 인지 V하여 주시기 바랍니다.(만약 3가지 위험요소에 대한 중요도를 고려하지 않았다면 이 응답은 하지 않으셔도 됩니다.)

(1) 발생가능성(L)의 중요도



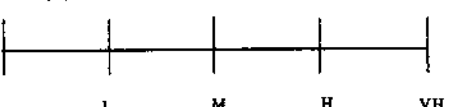
VL L M H VH

(2) 노출정도(E)의 중요도



VL L M H VH

(3) 결과 (C)의 중요도



VL L M H VH

remark: VL = Very Low, L = Low, M = Medium, H = High, VH = Very High

그림 2. Karwowski와 Mital의 퍼지 언어 변수를 이용한 설문

그리고 동일한 피실험자를 대상으로 10가지 같은 위험 상황에 대하여 Karwowski 와 Mital의 퍼지 언어 변수를 제시하여 각 위험요소의 해당 정도를 선정하고 종합적 위험 정도를 평가하도록 하였다.

위의 주관적 평가를 위하여 표 1을 언어 서술적 표현과 퍼지 언어 변수로 각각 분류하여 설문 중에 제시되었다. 본 논문에서 위험상황에 대한 위험 정도를 결정하기 위해서 사용한 설문 중 하나를 예시하면 그림 1과 2와 같다.

표본은 86명으로 산업공학과에 재학중인 3,4학년으로 구성되었다.

본 설문평가의 목적은 위험상황에 대한 각 위험요소의 크기 정도를 도출하고, 각 위험요소의 크기선정과 위험 평가를 할 때 Graham과 Kinney의 언어서술적 표현방식과 Karwowski와 Mital의 퍼지 언어변수방식 중에서 어느 방식이 편리한지 또 두 방식에 차이가 있는지 알아보고자 하는 것이다.

그리고 피실험자로 부터 선정된 각 위험요소의 크기 정도를 가지고 Graham과 Kinney의 방법과 본 논문에서 제안한 방법에 적용하여 얼마나 위험평가자의 주관적 평가에 일치하는지를 알아봄으로써 본 모형의 타당성여부를 분석하는 것을 목적으로 한다.

3.2 설문분석

위험 평가의 편리성은 Graham과 Kinney의 언어 서술적 표현방식(I)이 Karwowski와 Mital의 퍼지언어변수 이용방식(II)보다 편리하다는 비율은 30.6(%), II가 I보다 편리하다는 비율은 53(%), 그리고 별 차이가 없다는 비율은 16.4(%로 나타났다. 따라서 각 위험요소의 해당 정도를 평가할 때 위험평가자에게 있어서 퍼지 언어 변수가 인식하기 좋은 것으로 나타났다. 또, 모든 피실험자가 위험 상황에 대하여 3가지 위험요소를 가지고 위험평가를 할 때 각 요소에 대하여 상대적 중요도를 고려하는 것으로 나타났다. 그리고 10가지 위험상황에 대하여 위험평가 시 고려되는 세 가지 요소 즉, 발생가능성(L), 위험에 대한 노출정도(E), 그리고 결과의 심각성(C)등의 해당 정도와 종합적 위험평가 측면에서 I과 II방식에 차이가 있는지를 검정한 결과는 표 4와 같다.

표 4를 보면 위험상황에 따라 다르겠지만 대부분의 위

표 4. I과 II의 방식 차이 검정

($\alpha = 5\%$ (**), $\alpha = 10\%$ (*))

위험상황	L	E	C	위험평가
1		**	**	**
2		**	**	**
3			**	**
4	*		**	
5		**	**	**
6		**	**	
7		**	**	
8			**	**
9	**		**	
10			**	*

험상황에서 E 와 C 그리고 위험평가에 상당히 유의차가 있는 것으로 나타났다.

특히 C 위험요소는 모든 위험상황에서 매우 유의한 것으로 나타나서 위험평가 시 언어의 서술적 표현 방식과 퍼지 언어 변수방식 중 어떤 방식이 제시되느냐에 의해 C 위험요소의 크기정도가 달라지므로 종합적 위험평가에 영향을 주게된다. 표 5는 Graham과 Kinney의 언어 서술적 표현을 이용하여 얻어진 각 위험요소의 해당 정도를 Graham과 Kinney 방법에 적용하고, 평가된 위험수준을 위험평가자의 주관적 위험평가와 비교한 것이다. 표 6은 Karwowski와 Mital의 퍼지 언어 변수를 이용하여 얻어진 각 위험요소의 해당 정도를 제안한 퍼지 다기준 의사결정(FMCDM) 위험평가 방법에 적용하고, 평가된 위험수준을 위험평가자의 주관적 위험평가와 비교한 것이다.

표 5에서 Graham과 Kinney의 방법에 의한 위험 평가가 대부분의 위험 상황에 있어서 주관적 위험평가 수준보다 낮다는 것을 알 수 있는데 이것은 Graham과 Kinney의 방법이 승법 모형 구조로 인하여 비교적 낮은 위험 수준으로 평가되는 것으로 볼 수 있다.

표 5와 표 6을 비교 설명하면 위험상황에 따라 다르겠지만 제안된 FMCDM 위험평가 방법이 Graham과 Kinney 방법보다 위험평가자의 주관적 위험평가에 매우 일치하고 있음을 보여주고 있다

표 5. Graham과 Kinney방법과 주관적 위험평가 비교

위험상황	$S=L \times E \times C$ (주관적 위험평가(S'))	$S=S'$	$S)S'$
#1	65	15	6
#2	59	20	7
#3	42	18	26
#4	42	37	7
#5	55	24	7
#6	28	36	22
#7	63	18	5
#8	23	30	33
#9	24	27	35
#10	46	20	20

표 6. 제안된 방법(FMCDM)과 주관적 위험평가 비교

위험상황	FMCDM(주관적 위험평가(S'))	FMCDM=FMCDM)	
		S''	S''
#1	38	39	9
#2	18	39	29
#3	10	47	29
#4	6	40	40
#5	19	41	26
#6	17	32	37
#7	27	34	25
#8	21	41	24
#9	26	44	16
#10	33	35	18

그러므로, Graham과 Kinney방법보다 본 연구에서 제안한 FMCDM 위험평가 방법이 위험수준을 평가하는데 인지된 위험치와 더 잘 일치하므로 위험상황에 대하여 위험분석가가 주관적으로 평가하는 경우에 있어서 효율적인 방법이라 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 위험상황에 대한 정확한 위험수준을 평가하기 위하여 퍼지 개념을 적용한 퍼지 다기준 의사결정 위험평가 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 Graham과 Kinney가 제시한 위험 상황 관리를 위한 세 가지 요소 즉, 발생가능성, 위험에 대한 노출정도, 그리고 결과의 심각성을 고려하였다. 그리고 각 위험요소의 해당정도를 분류하는 퍼지 언어변수는 Karwowski와 Mital이 제시한 방식을 이용하였다.

본 논문에서 제안한 위험평가 방법의 타당성을 보이기 위하여 설문평가를 실시하였고, 실시한 결과 Graham과 Kinney방법보다 위험평가자가 종합적으로 인지하는 위험정도를 보다 더 정확히 반영하는 것으로 나타났다. 따라서 위험상황에 대한 방침 관리, 대책 등을 보다 효율적으로 할 수 있는 토대를 제공할 수 있다. 그리고 각 위험요소의 위험정도에 퍼지 개념을 도입하여 절대적 수치를 유연성 있게 했고, 위험상황에 따른 위험평가 요소에 상대적 중요도를 도입할 수 있었다. 여기서 중요도는 기업환경 및 위험상황에 따라서 달라질 수 있다. 제안된 방법은 여러 위험상황에 대하여 위험수준을 비교 할 수 있도록 위험순위를 도출할 수 있었다. 도출된 위험순위는 중점적으로 관리되어야 할 위험상황을 제공하고 민감도 분석을 통하여 어느 정도 위험수준이 향상되는지를 알 수 있다. 우리실정에 적합한 한글 퍼지 언어 모형을 이용한 위험평가 방법과 대화형 위험평가 방법의 개발 등이 앞으로의 연구과제라 생각된다.

참고문헌

- [1] 이광형, 오길목, 퍼지이론 및 응용 1·Ⅱ, 홍릉과학출판사, 1991.
- [2] Barron, F.H. and Meckenzie, K.D., "A Constrained Optimization Model of Risk Decision," *J. Math. Psychol.*, Vol. 10, pp. 58-62, 1974.
- [3] Brown, C.B. "A Fuzzy Safety Measure," *J. Eng. Mech. Div.*, Vol. 5, pp. 855-872, 1979.
- [4] Buckley, J.J., "The Multiple Judge, Multiple Criteria Ranking Problem: a Fuzzy Set Approach," *Fuzzy Sets*

- and Systems, Vol. 13, pp. 25-37, 1984.
- [5] _____, "Ranking Alternatives Using Fuzzy Numbers," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 15, pp. 21-31, 1985.
- [5] Chapman, C.B. and Cooper, D.F., "Risk Analysis: Testing Some Prejudices." *European J. Oper. Res.*, Vol.14, pp. 238-247, 1983.
- [7] Feagans, T. B. and Biller, W. F., Fuzzy concepts in the Analysis of public Health Risks, in: P.P. Wang, S.K. Chang, Eds., *Fuzzy sets*(Plenum Press, New York), pp. 391-404, 1980.
- [3] Fine, W.T., "Mathematical Evaluation for Controlling Hazards." *Journal of safety Research*, Vol. 3, No. 4, 1971. pp. 157-166.
- [9] Graham, K.J. and Kinney, G.F., "A Practical Safety Analysis System for Hazards Control," *J. Safety Research*, Vol. 12, pp. 13-20, 1980.
- [10] Kangari, R. and Riggs, L.S., "Construction Risk Assessment by Linguistics," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, Vol. 36, No. 2, pp. 126-131, 1989.
- [11] Karwowski, W. and Mital, A., "Potential Applications of Fuzzy Sets in Industrial Safety Engineering," *Fuzzy Set and Systems*, Vol. 19, pp. 105-120, 1986.
- [12] Lee, E.S. and Li, R.J., "Comparison of Fuzzy Members Based on the Probability Measure of Fuzzy Events." *Computers and Mathematics with Application*, Vol. 15, pp. 887-896, 1988.
- [13] Liang, G., and Wang, M., "A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method for Facility Site Selection." *Int.J. Prod. Res.*, Vol. 29, No. 2, pp. 345-359, 1991.
- [14] Mustafa, M.A. and Al-Bahar, J.F., "Project Risk Assessment Using the Analytic Hierarchy Process." *IEEE Trans. Eng. Manag.*, Vol. 38, No. 1, pp. 46-52, 1991.
- [15] Zadeh, L.A. "Fuzzy Sets," *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [16] Zimmer, A.C., "A Model for the Interpretation of Verbal Predictions," *Int. J. Man-Machine Stud.*, Vol. 20, pp. 121-134, 1984.