Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering
Vol, 30, No. 1, pp.89−95, March 2007.

퍼지 AHP 적용에 있어서 평가자 신뢰도와 위험인식 성향의 반영

박찬국*† · 남지희* · 이영건* · 김관현* · 최기련**

*한국원자력연구소
**아주대학교 에너지학과

The Consideration of Evaluator's Confidence and Risk Attitude in Fuzzy-AHP

Chan-Gook Park*† · Ji-Hee Nam* · Young-Gun Lee* · Kwan-Hyun Kim* · Gi-Ryun Choi**

*Korea Atomic Energy Research Institute
**Dept. of Energy, Ajou Univ.

In general, reliability of AHP(Analytic Hierarchy Process) depends on pairwise comparison of evaluators. In addition, human judgment on the importance of alternatives or criteria is always imprecise and vague. To cope with these shortcomings, Fuzzy AHP is suggested and used widely recently. But in Fuzzy AHP, it cannot deal with the evaluator's various attitudes towards risk and confidence owing to evaluator's different expertise and experience. This paper proposes a method for consideration of evaluator's confidence and risk attitude in Fuzzy AHP. And suggested methods are applied various scenarios to verify the meaningfulness. The result shows that the priority of alternatives can be change through the consideration of evaluator's confidence and risk attitude.

Keywords : AHP, Fuzzy AHP, Triangular Fuzzy Numbers, Confidence and Risk Attitude

1. 서 론

T.L Saaty에 의해 제안된 AHP(Analytic Hierarchy Process)는 복잡한 의사결정의 문제를 작은 문제로 나누어 계층화하여 합리적인 의사결정이 가능하도록 체계적으로 분석하는 기법으로써, 의사결정 문제를 계층화한 후 각 평가 기준의 관점에서 대안들의 상대적인 중요도와 평가 기준들간의 상대적인 중요도를 쌍대비교(Pairwise Comparison)하여 최하위 계층에 있는 대안들의 가중치 혹은 우선순위를 구할 수 있도록 하는 의사결정 도구이다[5]. 이 기법은 이론의 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 말미암아 여러 의사결정분야에서 널리 응용되어 왔으며, 이론구조 자체에 관해서도 활발한 연구가 진행되고 있다[6].

AHP는 평가자의 쌍대비교 결과를 분석의 입력자료로 활용하기 때문에 AHP의 신뢰도는 평가자의 쌍대비교 결과에 의해 좌우된다고 할 수 있다.

그러나 평가자의 쌍대비교 과정은 필연적으로 인간 언어 혹은 사고에 내재된 애매모호성 혹은 불확실성을 수반하게 된다. 퍼지이론은 모호하게 표현된 자료들을 유용한 자료로 만들기 위하여, 퍼지집합(Fuzzy Set), 소속함수(Membership Function), 퍼지넘버(Fuzzy Number) 등

† 교신저자 cgpark@kaeri.re.kr

의 개념을 포함하고 있으며, 수학적인 계산방법도 잘 개발되어 있다. 그러므로 퍼지이론은 실제 문제에서 발생하는 모호성과 불확실성 개념을 효과적으로 처리할 수 있는 이론으로 간주되어 의사결정 뿐만 아니라 의학, 공학 등 다양한 분야에 응용되고 있다[7].

Laarhoven and Pedrycz[10]는 AHP에 퍼지이론을 접목한 퍼지 AHP를 제안하였으며, 그 이후로 다양한 퍼지 AHP 방법들이 연구되었다. 예를 들면, Chang[9]은 삼각퍼지수를 이용하였으며, Buckley[8]는 사다리꼴 퍼지수를 이용하였다. 하지만, AHP의 신뢰도가 평가자의 쌍대비교 결과에 크게 의존하는 상황에서 퍼지 AHP를 이용하더라도 다음 두 가지 측면에서 여전히 개선의 여지가 남아있다.

첫째, 대부분의 AHP 응용연구에서 평가자의 위험인식 성향을 간과하고 있는 점이다. 평가자의 위험인식 성향(비관적/중립적/낙관적)은 특히, 퍼지수를 활용하는 퍼지 AHP에서 퍼지수의 형태를 변환시킴으로써, 쌍대비교 결과에 상당한 영향을 미칠 수 있는 요인임에도 불구하고 퍼지 AHP 응용연구에서는 이를 분석과정에서 고려하고 있지 못하다. Liou and Wang[12]은 “Integral Value”를 이용하여 퍼지수의 순서를 결정하는 방법을 제안하였으며, “Integral Value”를 계산하는 과정에서 평가자의 위험인식 성향을 의미하는 낙관지수(Degree of Optimism)를 사용하였다. 삼각퍼지수 구간의 양 끝값에 낙관지수에 해당하는 0과 1사이의 일정 비율을 곱하여 비관적/낙관적 혹은 중립적 성향을 반영한 비퍼지화된 값(“Integral Value”)을 계산하였다. 문혜선 등[4]과 곽승준 등[1]은 동일한 방법을 이용하여 평가자의 퍼지신뢰지수를 계산하였다.

위험인식 성향을 반영하는 Liou and Wang의 방법은 퍼지수를 비퍼지화하는 경우에 적용이 가능하며, 분석 이후과정에서 계속 퍼지수가 활용되는 경우에는 적용이 불가능하다.

둘째, 각 평가자의 평가능력이 동일하게 설정되고, 한 평가자의 평가항목들에 차별을 두지 못하고 있다. 즉, 각 평가자별로 전문성과 경험이 서로 다르기 때문에 각각의 쌍대비교 결과에 다른 가중치를 두어야 함에도 불구하고 그렇지 못하고 있으며, 한 평가자의 쌍대비교 결과라 하더라도 평가분야에 따라 각 항목별로 그 신뢰도가 다를 수 있는데 기존의 퍼지 AHP 분석과정에서는 이를 고려하지 못하고 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해서 김승남 등[2]은 응답의 확실성 정도를 설문 받아 이 척도를 이용하여 해당 평가치 퍼지함수를 집중화(Concentration) 또는 팽창화(Dilation)함으로써 차별을 두는 방법을 제시하였다. 조근태[6]는 평가자의 경험과 지식에 대한 평가항목을 선정하여 이를 기준으로 평가자 별로 상이한 가중치를 부여할 수 있도록 AHP 기법의 개선방법을 제시하였다. 김성철 등[3]은 베이지안 의사결정론을 이용하여 전문가들의 전문성 정도에 따라 등급을 산정함으로써 전문가의 의견에 신뢰성을 높이고 전문성 정도 결정의 객관적인 척도 및 그 이용방법을 제시하였다. 곽승준 등[1]과 문혜선 등[4]은 각 전문가가 응답한 설문 확신도를 이용하여 각 전문가가 전반적인 평가에 대해 얼마나 신뢰하고 있는가를 나타내는 척도로서 퍼지 신뢰지수를 계산하였다.

하지만 이러한 방법들은 전문가별로 신뢰성 지수에 해당하는 척도를 계산하여 해당 전문가의 평가치에 일괄 적용하는 한계를 가지고 있으며, 여전히 한 평가자의 각 평가항목별로 차별화된 가중치를 부여하지 못하고 있다.

본 연구에서는 퍼지 AHP를 적용하는데 있어서 평가자의 쌍대비교 결과인 퍼지수를 유지하는 상태에서 평가자의 위험인식 성향을 반영하고 각 쌍대비교 항목별로 응답신뢰도를 개별 반영할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 또한 제안된 방법에 대하여 다양한 수치예제를 통해 그 유효성을 검증하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 삼각퍼지수(Triangular Fuzzy Number)

퍼지이론은 Zadeh[14]를 통해 체계적으로 발전한 이론으로서 “0 또는 1”, “예 또는 아니오”로 확실하게 표현되는 이분법적 논리와는 달리 “0에 가깝다”, “아마도 그럴 것이다”와 같은 애매모호한 대상을 표현하는데 활용된다. 즉, 인간의 언어나 사고와 같은 애매모호함을 표현하는 질적이고 정성적인 자료를 정량적인 수치로 변환시킬 수 있기 때문에 애매모호성 또는 불확실성을 본질적으로 내포하고 있는 인간의 가치판단을 보다 정확히 표현하는데 효과적이다[4].

퍼지수(Fuzzy Number) M은 변수 x에 대응되는 퍼지집합을 의미하며, 소속함수(Membership Function) $\mu_M(x)$: $R \rightarrow [0, 1]$에 의해 정의된다. 소속함수는 x가 M에 속할 가능성의 정도를 나타내주는 것으로서, 함수의 형태는 여러 가지로 정의될 수 있으나, 본 논문에서는 아래와 같이 개념적으로 접근하기 용이한 삼각퍼지수를 사용하기로 한다. 삼각퍼지수 $M=(l, m, u)$의 소속함수는 아래의 식으로 표현된다.

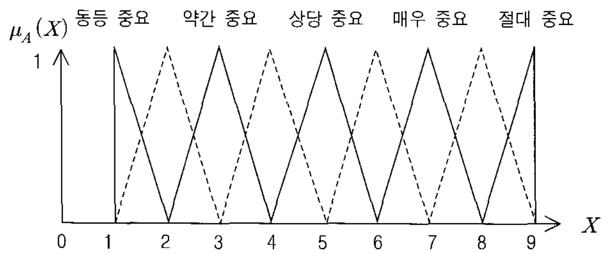
$$\mu_M(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l}, & l \le x \le m \\ \dfrac{u-x}{u-m}, & m \le x \le u \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

여기서 $l \le m \le u$이며, l과 u는 각각 삼각퍼지수 M의 하한값과 상한값을 의미한다. <표 1>은 AHP의 쌍대비교에서 활용되는 언어표현 척도와 각각에 해당하는 삼각퍼지수의 예를 보여주고 있으며, <그림 1>은 이를 도식화한 것이다.

<표 1> 쌍대비교 언어 척도 및 퍼지수

언어척도	비퍼지수	삼각퍼지수
동등하게 중요하다	1	(1, 1, 2)
약간 중요하다	3	(2, 3, 4)
상당히 중요하다	5	(4, 5, 6)
매우 중요하다	7	(6, 7, 8)
절대적으로 중요하다	9	(8, 9, 9)

주) 근접한 척도간의 사이값은 중간 중요도를 의미함.



<그림 1> 쌍대비교 언어척도 및 퍼지수 도식화

2.2 퍼지 AHP(Fuzzy AHP)

퍼지 AHP는 쌍대비교 과정에서 인간의 판단에 내재된 불명확하고 애매한 불확실성을 다루기 위해 쌍대비교의 결과를 퍼지수로 취급하여 평가기준이나 대안의 상대중요도를 도출하기 위한 의사결정도구이다. 퍼지 AHP 분석과정에서는 각각의 쌍대비교 결과를 퍼지수로 다루어야 하기 때문에 Saaty[13]의 고유벡터법을 이용할 수 없다. AHP 분석과정에서 퍼지수를 다루기 위한 몇 가지 방법들이 제안되었지만, 본 연구에서는 Chang[9]의 방법론을 활용하기로 한다.

퍼지 쌍대비교 행렬 A가 다음과 같다고 가정하면,

$$A = [a_{ij}] = [(l_{ij},\ m_{ij},\ u_{ij})], (i, j = 1, 2, \cdots, n)$$
$$= \begin{pmatrix} a_{11}\, a_{12}\, a_{13} \cdots a_{1n} \\ a_{21}\, a_{22}\, a_{23} \cdots a_{2n} \\ a_{31}\, a_{32}\, a_{33} \cdots a_{3n} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ a_{n1}\, a_{n2}\, a_{n3} \cdots a_{nn} \end{pmatrix}$$

$i=j$인 모든 $a_{ij} = (1,1,1)$이고, $l_{ij} = \dfrac{1}{l_{ji}}$, $m_{ij} = \dfrac{1}{m_{ji}}$, $u_{ij} = \dfrac{1}{u_{ji}}$의 관계가 성립하며, Chang의 퍼지 AHP 적용 절차는 다음과 같다.

(1) i번째 요소의 Fuzzy Synthetic Extent 값을 E_i라 하면, E_i는 다음과 같이 정의된다.

$$E_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \otimes \left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\right)^{-1}$$

(2) 삼각퍼지수 $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$, $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$에 대하여 $M_2 \ge M_1$일 확률의 정도(Degree of Possibility)는 다음과 같이 정의된다.

$$V(M_2 \ge M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d)$$
$$= \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \ge m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \ge u_2 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & otherwise \end{cases}$$

여기서 d는 μ_{M_1}과 μ_{M_2}의 교차점의 x좌표 값을 의미한다.

(3) 삼각퍼지수 M이 다른 k개의 퍼지수 $M_i\ (i=1, 2, \cdots, k)$보다 클 확률의 정도(Degree of Possibility)는 다음과 같이 정의된다.

$$V(M \ge M_1, M_2, \cdots, M_k)$$
$$= V[(M \ge M_1) \text{ and } (M \ge M_2) \text{ and} \cdots \text{ and } (M \ge M_k)]$$
$$= \min V(M \ge M_i),\ i = 1, 2, \cdots, k.$$

(4) 특정 요소 $i(i=1, 2, \cdots, n)$에 대하여, $w'_i = \min V(E_i \ge E_j), (j = 1, 2, \cdots, n\ ;\ i \ne j)$라고 가정하면, 각 요소들의 가중치 벡터는 다음과 같다.

$$W' = (w'_1, w'_2, \cdots, w'_n)^T$$

그리고, 이'를 정규화하면 다음과 같은 각 요소들의 정규화된 가중치 벡터 W를 구할 수 있다.

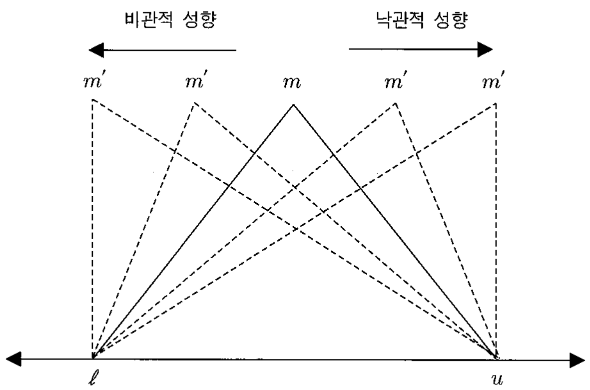
$$W = (w_1,\ w_2, \cdots, w_n)^T$$

3. 평가자의 위험인식 성향 반영 방법

0과 1사이의 값을 가지는 낙관지수(Degree of Optimism) α를 통해 평가자의 위험인식 성향을 표현한다고 할 때, Liou and Wang[12]은 삼각퍼지수의 상한값에 α를, 하한값에는 $(1-\alpha)$를 곱하여 비퍼지화 함으로써 평

가자의 위험인식 성향을 반영하였다. 하지만 이 방법은 삼각퍼지수를 비퍼지화하는 경우에만 사용할 수 있다는 한계를 가지고 있다. 퍼지 AHP에서는 평가기준 및 대안의 상대중요도를 계산하는 과정에서 퍼지수가 이용되기 때문에 쌍대비교의 결과에 평가자의 위험인식성향이 반영되더라도 퍼지수 형태가 유지되는 새로운 방법이 요구된다.

이에 본 연구에서는 삼각퍼지수의 형태를 계속 유지하는 상태에서 평가자의 위험인식 성향을 반영할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.



<그림 2> 위험인식성향에 따른 퍼지수 형태

평가자의 쌍대비교 결과가 삼각퍼지수 (l, m, u)으로 표현된다고 할 때, 이 삼각퍼지수가 이등변삼각형의 형태를 이루면 이는 낙관적이지도 비관적이지도 않은 중립적 위험인식 성향을 가지고 평가한 결과라 할 수 있다. 반면, 낙관적 성향을 가진 평가자의 평가치는 삼각퍼지수의 가운데 점 m이 오른쪽으로 치우친 형태를 가질 것이며, 반대로 비관적 성향을 가진 경우에는 m이 왼쪽으로 치우친 형태를 보이게 된다(<그림 2> 참조). 이때 낙관적 혹은 비관적 성향의 정도에 따라 치우침의 정도가 결정된다 할 수 있다.

<그림 1>과 같은 퍼지수 척도에 대한 평가자의 위험인식 성향을 나타내는 낙관지수(α)를 반영한 삼각퍼지수를 (l, m', u)라 할 때, m'는 다음 식에 의해서 계산될 수 있다.

$$m' = \alpha u + (1-\alpha) l$$

여기서, 낙관지수 α는 0과 1사이의 값을 가지며, 0에 가까울수록 비관적인 성향을, 1에 가까울수록 낙관적인 성향을 보이며, 0.5일 때는 중립적이라고 할 수 있다. 위의 식을 보면, 낙관적인 성향인 경우(α값이 0.5보다 큰 경우)에는 삼각퍼지수의 상한값(u)에 높은 비중을 두고 m'값이 결정되며, 반대로 비관적인 성향의 경우(α값이 0.5보다 작은 경우)에는 삼각퍼지수의 하한값(l)에 높은 비중을 두고 m'값이 결정됨을 알 수 있다. 또한 α 값이 0.5로 중립적인 경우에는 상한값(u)과 하한값(l)의 중앙값으로 결정됨을 알 수 있다.

예를 들어, 쌍대비교 결과가 퍼지수 (3, 4, 5)로 표현되는 경우, 낙관지수 α의 변화에 따른 쌍대비교 결과 퍼지수의 변화를 살펴보면, $\alpha = 0.1$일 때 $m' = 0.1 \times 5 + (1-0.1) \times 3 = 3.2$이므로, $(l, m', u) = (3, 3.2, 5)$가 된다. 마찬가지로, $\alpha = 0.5$일 때 $(l, m', u) = (3, 4, 5)$로 변화가 없으며, $\alpha = 0.9$일 때 $(l, m', u) = (3, 4.8, 5)$가 된다.

4. 평가자의 응답 확신도 반영 방법

AHP의 쌍대비교 설문에 참여한 각 평가자들의 전문성과 경험 등이 다를 수밖에 없음에도 불구하고 이들의 평가결과를 동일하게 취급하는 것은 AHP 결과의 신뢰성을 저하시키는 한 요인으로 작용할 수 있다. 또한, 한 평가자의 평가결과 중에서도 자신의 전문분야와 경험에 따라 평가항목별로 응답확신도가 다를 수 있는데 이들의 결과에 차별성을 두지 못하는 것 또한 AHP 결과의 신뢰도를 저하시키는 요인이 될 수 있다.

조근태[6], 문혜선 등[4], 곽승준 등[1], 김승남 등[2] 이 평가자별로 신뢰지수를 도출하여 평가자의 설문결과에 일괄 적용하는 방법을 이용하였으나, 여전히 한 평가자의 각 평가항목을 차별화시키지 못하는 한계를 가지고 있다.

평가자별로 평가의 신뢰수준을 달리함과 동시에 동일 평가자의 각 평가항목별로 신뢰수준의 차별화를 위해 본 연구에서는 각 평가항목별로 응답확신도에 해당하는 가중치를 부여하는 방법을 제안한다.

즉, 평가자별로 쌍대비교시 각 평가항목에 대해 추가로 응답확신도를 표시하도록 하고, 평가자별 동일 평가항목에 대하여 응답확신도를 가중치로 하는 가중평균을 구하여 해당 평가항목의 쌍대비교 결과로 이용한다. 이를 위해서는 퍼지 AHP에서 쌍대비교 결과가 퍼지수 형태이기 때문에 퍼지수에 대한 가중평균의 계산법이 요구된다.

본 연구에서는 Dong Hoon Lee and Daihee Park[11]가 제안한 EFWA(Efficient Fuzzy Weight Average) 방법을 사용하여 퍼지가중평균을 계산하기로 한다. 이 방법에 대한 상세설명은 해당 문헌을 참고하기로 하며, 여기서는 아래와 같은 계산 알고리즘을 이용하기로 한다.

퍼지수 x_i와 w_i를 각각 (l_i, m_i, u_i), (a_i, b_i, c_i)라고 할 때, w_i를 가중치로 하는 x_i의 퍼지가중평균 $[L, M, U]$를 구하기 위한 EFWA의 계산과정은 다음과 같다.

step 1 : 퍼지수 x_i의 구간 하한값으로 이루어지는 행렬 $(l_1, l_2, \cdots, l_n)$을 구한다. 단, $l_1 \le l_2 \le \cdots \le l_n$이다. $first = 1$, $last = n$으로 결정한다.

step 2 : $k = (first + last)/2$이며(소수점 이하 값은 버림), 다음 규칙에 의해 $L_k = (e_1, e_2, \cdots, e_n)$을 계산한다.

$$e_i = c_i (i = 1, 2, \cdots k),$$
$$e_i = a_i (i = k+1, \cdots, n)$$

step 3 : 다음 식에 의해 $F(L_k)$, $F(L_{k+1})$값을 계산한다.

$$F(L_k) = \frac{(l_1 - l_k)e_1 + (l_2 - l_k)e_2 + \cdots + (l_n - l_k)e_n}{e_1 + e_2 + \cdots + e_n}$$

step 4 : $F(L_k) > 0$이고 $F(L_{k+1}) \le 0$이면, $L = l_k + F(L_k)$이며, Step 5로 이동한다. 이외의 경우에는 $last = k$로 변경하여 Step 2로 이동한다.

step 5 : 퍼지수 x_i의 구간 상한값으로 이루어지는 행렬 $(u_1, u_2, \cdots, u_n)$을 구한다. 단, $u_1 \le u_2 \le \cdots \le u_n$이다. $first = 1, last = n$으로 결정한다.

step 6 : $k = (first + last)/2$이며(소수점 이하 값은 버림), 다음 규칙에 의해 $U_k = (e_1, e_2, \cdots, e_n)$을 계산한다.

$$e_i = a_i (i = 1, 2, \cdots k),$$
$$e_i = c_i (i = k+1, \cdots, n)$$

step 7 : 다음 식에 의해 $F(U_k)$, $F(U_{k+1})$값을 계산한다.

$$F(U_k) = \frac{(u_1 - u_k)e_1 + (u_2 - u_k)e_2 + \cdots + (u_n - u_k)e_n}{e_1 + e_2 + \cdots + e_n}$$

step 8 : $F(U_k) > 0$이고 $F(U_{k+1}) \le 0$이면, $U = u_k + F(U_k)$이다. 이외의 경우에는 $last = k$로 변경하여 Step 6으로 이동한다.

step 9 : l_i 값을 m_i으로, a_i와 c_i 값을 b_i로 설정하여 step 1~step 4를 반복하여 L을 구하고 이를 M으로 한다.

예를 들어, 특정 쌍대비교 항목에 대한 평가자 3명의 쌍대비교 결과와 응답확신도가 다음과 같다고 가정할 때, EFWA 방법에 의한 퍼지가중평균의 계산과정은 다음과 같다.

<표 2> 쌍대비교 결과 및 응답확신도(예시)

평가자 (i)	쌍대비교 결과 (l_i, m_i, u_i)	응답확신도 (a_i, b_i, c_i)
평가자 1	(4, 5, 6)	(0.7, 0.8, 0.9)
평가자 2	(1, 2, 3)	(0.3, 0.4, 0.5)
평가자 3	(5, 6, 7)	(0.6, 0.7, 0.8)

Step 1 : 평가자별 쌍대비교결과 퍼지수의 하한값으로 이루어지는 비감소 행렬 $(l_1, l_2, \cdots, l_n)$은 (1, 4, 5)이고, $first = 1$, $last = 3$이다.

Step 2 : $k = (1+3)/2 = 2$이고, $L_2 = (c_1, c_2, a_3) = (0.5, 0.9, 0.6)$이 된다.

Step 3 : $F(L_2)$와 $F(L_3)$의 계산식은 다음과 같다.

$$F(L_2) = \frac{(1-4)0.5 + (4-4)0.9 + (5-4)0.6}{0.5 + 0.9 + 0.6} = -0.45$$
$$F(L_3) = \frac{(1-5)0.5 + (4-5)0.9 + (5-5)0.6}{0.5 + 0.9 + 0.6} = -1.45$$

Step 4 : $F(L_2) > 0$, $F(L_3 < 0)$의 조건이 성립되지 않으므로, $last = 2$로 설정하여 Step 2로 이동한다.

Step 2 : $k = (1+2)/2 = 1.5$이므로 $k = 1$이 되고 $L_1 = (0.5, 0.7, 0.6)$이 된다.

Step 3 : $F(L_1)$과 $F(L_2)$의 계산식은 다음과 같다.

$$F(L_1) = \frac{(1-1)0.5 + (4-1)0.7 + (5-1)0.6}{0.5 + 0.7 + 0.6} = 2.50$$
$$F(L_2) = \frac{(1-4)0.5 + (4-4)0.7 + (5-4)0.6}{0.5 + 0.7 + 0.6} = -0.50$$

Step 4 : $F(L_1) > 0$, $F(L_2 < 0)$의 조건을 만족하므로, $L = l_1 + F(L_1) = 1 + 2.5 = 3.50$가 된다.

Step 5 : 평가자별 쌍대비교 결과 퍼지수의 상한값으로 이루어지는 비감소 행렬 $(u_1, u_2, \cdots, u_n)$은 $(3, 6, 7)$이고, $first = 1, last = 3$이다.

Step 6 : $k = (1+3)/2 = 2$이고, $U_2 = (a_1, a_2, c_3) = (0.3, 0.7, 0.8)$이 된다.

Step 7 : $F(U_2)$와 $F(U_3)$의 계산식은 다음과 같다.

$$F(U_2) = \frac{(3-6)0.3 + (6-6)0.7 + (7-6)0.8}{0.3 + 0.7 + 0.8} = -0.06$$
$$F(U_3) = \frac{(3-7)0.3 + (6-7)0.7 + (7-7)0.8}{0.3 + 0.7 + 0.8} = -1.06$$

Step 8 : $F(U_2) > 0$, $F(U_3 < 0)$의 조건이 성립되지 않으므로, $last = 2$로 설정하여 Step 6으로 이동한다.

Step 6 : $k = (1+2)/2 = 1.5$이므로 $k = 1$이 되고 $U_1 = (0.3, 0.9, 0.8)$이 된다.

Step 7 : $F(U_1)$와 $F(U_2)$의 계산식은 다음과 같다.

$$F(U_1) = \frac{(3-3)0.3 + (6-3)0.9 + (7-3)0.8}{0.3 + 0.9 + 0.8} = 2.95$$
$$F(U_2) = \frac{(3-6)0.3 + (6-6)0.9 + (7-6)0.8}{0.3 + 0.9 + 0.8} = -0.05$$

Step 8 : $F(U_1) > 0$, $F(U_2 < 0)$의 조건을 만족하므로, $U = u_1 + F(U_1) = 3 + 2.95 = 5.95$가 된다.

Step 9 : l_i 값을 m_i으로, a_i와 c_i 값을 b_i로 설정하여 Step 1부터 Step 4를 반복하면 $L=4.74$가 되고 이 값을 M으로 한다.

결국, 3명의 평가자가 응답한 쌍대비교 결과를 퍼지 가중평균한 값은 (3.50, 4.74, 5.95)가 되며, 이는 각 평가자의 평가항목별 응답확신도를 고려한 쌍대비교 결과임을 의미한다.

5. 수치예제를 통한 유효성 검증

AHP 분석결과인 각 대안의 가중치 또는 우선순위는 그 참값을 알 수 없기 때문에 AHP 방법론의 개선시에 그 유효성을 검증하는데 어려움이 따른다. 본 연구에서는 다양한 수치예제를 통해 제안한 방법의 유효성을 간접적으로 검증하고자 한다.

이를 위해 동일한 쌍대비교 결과를 이용하여 다음과 같이 5가지 시나리오를 설정하여 각각에 대한 AHP 분석결과를 비교한다.

- 시나리오 1 : 단순 비퍼지 AHP
- 시나리오 2 : 퍼지 AHP
- 시나리오 3 : 평가자 위험인식성향(낙관지수)을 반영한 퍼지 AHP
- 시나리오 4 : 평가자 응답신뢰도를 반영한 퍼지 AHP
- 시나리오 5 : 평가자 위험인식성향(낙관지수)과 응답신뢰도를 동시에 반영한 퍼지 AHP

4개 대안에 대한 평가자 3명의 <표 1> 척도를 이용한 쌍대비교 결과 및 각 항목별 응답확신도, 그리고 각 평가자별 낙관지수 α값이 <표 3>, <표 4>, <표 5>와 같이 주어졌다고 가정하자(( )안의 수치는 각 항목별 응답확신도이며, 1에 가까울수록 확신도가 높음을 의미함).

<표 3> 평가자 1의 쌍대비교 결과

구 분	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
대안 1		3(0.7)	2(0.2)	2(0.6)
대안 2			2(0.5)	1(0.9)
대안 3				2(1.0)
대안 4				

주) 평가자 1의 낙관지수 $\alpha=0.8$.

<표 4> 평가자 2의 쌍대비교 결과

구 분	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
대안 1		3(0.2)	2(0.6)	3(0.7)
대안 2			2(0.4)	2(0.9)
대안 3				1(0.4)
대안 4				

주) 평가자 2의 낙관지수 $\alpha=0.5$.

<표 5> 평가자 3의 쌍대비교 결과

구 분	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
대안 1		3(0.8)	4(0.9)	3(0.7)
대안 2			1(0.6)	2(0.7)
대안 3				2(0.4)
대안 4				

주) 평가자 3의 낙관지수 $\alpha=0.3$.

시나리오 1은 각 항목별로 3명의 쌍대비교 결과를 단순평균한 값을 이용하여 쌍대비교 행렬을 구성하고, Saaty의 고유벡터법을 이용하여 각 대안의 가중치를 계산하였다.1)

시나리오 2는 각 쌍대비교 결과를 삼각퍼지수로 변환하고, 각 항목별로 삼각퍼지수의 평균을 구하여 쌍대비교행렬을 구성하고, Chang의 방법론을 이용하여 각 대안의 가중치를 계산하였다.

시나리오 3은 각 평가자별로 위험인식성향을 나타내는 낙관지수 값을 이용하여 각 평가자의 쌍대비교 결과 퍼지수를 변환하고, 이들을 각 항목별로 삼각퍼지수의 평균을 구하여 쌍대비교행렬을 구성하고, Chang의 방법론을 이용하여 각 대안의 가중치를 계산하였다.

시나리오 4는 각 쌍대비교 항목별로 쌍대비교 결과 퍼지수에 대하여 해당 응답확신도를 가중치로 하는 퍼지가중평균(EFWA 방법)을 계산하여 쌍대비교행렬을 구성하고, Chang의 방법론을 이용하여 각 대안의 가중치를 계산하였다.

시나리오 5는 시나리오 3의 낙관지수가 반영된 쌍대비교 행렬과 시나리오 4의 퍼지가중평균 쌍대비교 행렬의 평균을 구하여 새로운 쌍대비교행렬을 구성하고, Chang의 방법론을 이용하여 각 대안의 가중치를 계산하였다.

각 시나리오별로 계산된 각 대안들의 가중치 값은 <표 6>과 같다.

1) 평가자의 위험인식성향과 응답확신도 반영에 따른 대안들의 가중치 변화를 파악하는 것이 주목적이기 때문에 각 시나리오별 계산과정은 본 논문에서 생략한다.

<표 6> 각 시나리오별 대안들의 가중치 값

구분	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4	시나리오 5	최대 변화량
대안 1	0.4756	0.5168	0.5160	0.5610	0.5385	0.0854
대안 2	0.2171	0.2705	0.2742	0.2542	0.2647	0.0571
대안 3	0.1732	0.1745	0.1724	0.1777	0.1749	0.0053
대안 4	0.1341	0.0381	0.0375	0.0070	0.0220	0.1271

각 시나리오별 가중치 계산 결과를 보면, 가정한 쌍대비교 결과에서는 각 시나리오별로 가중치에 따른 우선순위가 변동하는 경우가 발생하지는 않았지만, 각 시나리오별로 대안 4의 경우 가중치 값이 최대 0.1271까지 변화가 있는 것을 나타났다. 이는 다른 쌍대비교 결과의 경우에 우선순위가 변동될 가능성이 충분함을 의미한다고 볼 수 있다.

따라서 평가자의 위험인식 성향(낙관지수)을 반영하거나 평가자의 응답확신도를 고려하면, 경우에 따라서 각 대안의 가중치 변화는 물론 대안의 우선순위 변화까지 가져올 정도로 AHP 분석결과에 의미있는 변화를 야기할 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

AHP 결과의 신뢰도가 평가자의 쌍대비교 결과에 크게 의존하는 상황에서 쌍대비교 과정에서 필연적으로 발생되는 인간 판단의 애매모호성 등의 불확실성을 극복하고자 퍼지 AHP가 제안되었고 최근 그 활용이 점차 증가하고 있다. 그러나 퍼지 AHP에서는 퍼지수의 형태를 변화시킬 수 있는 평가자의 위험인식성향을 반영하지 못하고 있으며, 다양한 전문성과 경험을 고려하지 못하고 각 평가자의 평가능력을 동일하게 설정하거나, 한 평가자의 모든 평가항목에 차별을 두지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 퍼지 AHP를 활용하는데 있어서 퍼지수의 형태를 그대로 유지하면서 평가자의 위험인식 성향을 분석과정에 반영하기 위한 계산방법을 제안하였다. 또한 평가자의 평가항목별로 응답확신도를 고려하기 위한 퍼지가중평균의 활용 방법을 제안하였다.

또한, 다양한 시나리오를 가정하여 제안된 방법을 이용하는 경우 AHP 분석결과인 각 대안들의 가중치에 유의한 변화가 생길 수 있음을 살펴보았다.

본 연구에서 각 평가항목별 응답확신도는 평가자가 직접 설문한 결과를 이용하였지만, 각 평가자의 위험인식 성향(낙관지수)은 0과 1사이의 값으로 가정하였다. 하지만, 분석 결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 낙관지수의 도출과정이 체계적으로 수립되어야 할 것이며, 이는 새로운 연구분야로서 충분한 가치가 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 제시한 방법을 통해 인간 판단과정에서 필연적으로 발생하는 불확실성을 분석과정에 포함시킴으로서 AHP 분석결과의 신뢰성을 높이는데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

[1] 곽승준, 유승훈, 허재용, Clifford Russell; "퍼지다기준 의사결정기법을 이용한 댐건설영향에 대한 지역주민들의 의견평가", 국토연구, 38 : 107-121, 2003.
[2] 김승남, 김철홍, 정영배, 김연수; "사용자 요구품질 추출과 분류방법의 개선에 관한 연구", 산업경영시스템학회지, 24(67) : 77-82, 2001.
[3] 김성철, 어하준; "AHP 가중치 결정에서의 다수 전문가 의견종합 방법", 한국경영과학회지, 19(3) : 41-51, 1994.
[4] 문혜선, 이정동; "국가종합과학기술지수의 도출과 적용: 종합지수를 통한 주요 선진국과의 국가과학기술활동 비교", 기술혁신연구, 13(1) : 1-17, 2005.
[5] 이덕주, 황주호, 김상국, 박광헌, 강진수; "AHP를 이용한 수출유망 원자력 기술 분야 선정", 기술혁신연구, 12(1) : 271-286, 2004.
[6] 조근태; "기술대안의 전략적 평가를 위한 AHP 적용에 있어서 평가자 신뢰성을 고려한 가중치 통합", 경영과학, 19(2) : 139-153, 2002.
[7] 조승국, 이주석; "퍼지-계층화 분석법을 적용한 서울시의 쾌적성(Amenity) 평가체계 구축을 위한 가중치 도출", 서울도시연구, 7(1) : 1-15, 2006.
[8] Buckley, J. J.; "The Multiple-judge, Multiple- criteria Ranking Problem," *Fuzzy Sets and Systems*, 13, 1984.
[9] Chang, Da Yong; "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP," *European Journal of Operation Research*, 95(3) : 649-655, 1996.
[10] Laarhoven, P. J. M. and Pedrycz, W.; "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory," *Fuzzy Sets and Systems*, 11 : 229-241, 1983.
[11] Lee, Dong Hoon, and Park, Daihee; "An efficient algorithm for fuzzy weighted average," *Fuzzy Sets and Systems*, 87 : 39-45, 1997.
[12] Liou, Tian-Shy and Wang, Mao-Jiun J.; "Ranking fuzzy numbers with integral value," *Fuzzy Sets and Systems*, 50 : 247-255, 1992.
[13] Saaty, T. L.; *Multicriteria Decision Making : The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, 1996.
[14] Zadeh, L. A.; "Fuzzy Sets," *Information and Control*, 8 : 338-353, 1965.