기업 의사결정을 위한 확장된 Fuzzy-ANP 기법 개발

Development of a Fuzzy-ANP for Decision making of Company

*이상수[1], #최영재[1], 이석우[1], 최헌종[1], 이영해[2]

*S. S. Lee(sslee@kitech.re.kr)[1], #Y. J. Choi[1](youngjae@kitech.re.kr), S. W. Lee[1], H. J. Choi[1], Y. H. Lee[2]

[1]한국생산기술연구원 디지털협업지원센터, [2]한양대학교 정보경영공학과

Key words : Analytic Network Process, Fuzzy Theory, Multi Attribute Decision-Making

1. 서 론

급변하는 제조기업의 환경과 소비자 요구에 빠르게 대처하기 위하여 오늘날 많은 중소 제조기업들은 IT기초 인프라 확충을 위하여 MES, PLM, PDM 등 다양한 정보시스템을 도입하고 있다. 이러한 정보시스템을 도입하기 위해서는 복잡하고 다양한 의사결정 요인들이 존재하며, 이를 종합적으로 판단하여 명확한 대안이 도출되어야 한다. 예를 들어, 대부분의 기업들은 시스템 선정 시 시스템의 기능, 신뢰성, 도입비용 및 성능 위주의 평가요소들을 바탕으로 자사에 적합한 시스템을 선정하고 있다. 이처럼 시스템 선정과정에서는 정성적 및 정량적 측면과 요소를 가지고 평가하게 되며, 일반적으로 기업 의사결정에 있어 의사결정 문제를 계층구조로 정리하여 최적 대안을 도출하는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 및 평가요소간 인과관계를 고려한 ANP (Analytic Network Process)는 다기준 의사결정 도구로서 널리 활용되고 있다. 그러나 인간의 판단 및 평가에 대한 애매함과 부정확성 및 주관적 기준에 의한 편향성이 포함되어 있어 명확한 수치(crisp data)에 의해 평가요소를 평가하는 것은 비현실적이다.[1]

이러한 문제들로 인하여 의사결정 과정에서 발생하는 인간사고의 불명확한 경계를 퍼지적 사고로 변환하여 명확한 의사결정 값으로 도출하려는 노력들이 최근 많이 이루어지고 있으며, 퍼지집합 이론과 AHP, ANP를 혼합하여 대안을 선정하고 문제를 해결하는 의사결정기법인 Fuzzy-AHP, Fuzzy-ANP 방법론을 개발 및 활용하고 있다. 하지만 아직까지는 Fuzzy-AHP는 각 평가요소 계층간 연관관계를 표현하지 못하여 정확한 최종 의사결정 가중치를 도출해 내지 못하며, Fuzzy-ANP는 의사결정 프로세스 전반에 걸쳐 퍼지개념이 반영되지 않고 있어 명확한 최종가중치를 얻기가 힘들다.

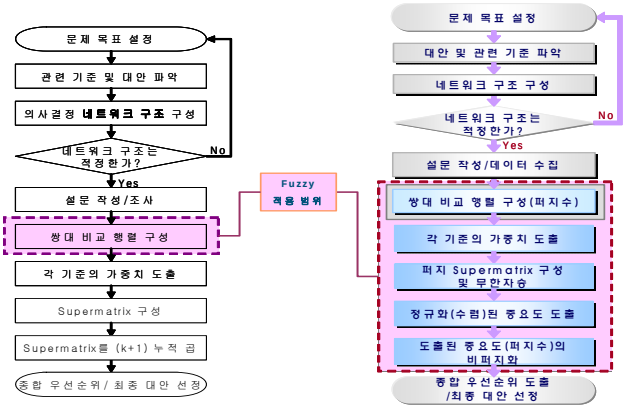
2. 확장된 Fuzzy-ANP 개발

2.1 기존 의사결정 기법과의 비교

본 연구에서는 기업 의사결정 시, 보다 합리적이고 현실적인 의사결정 지원을 위하여 Fuzzy-ANP 기법에 퍼지집합 이론을 의사결정 프로세스 전반에 걸쳐 확장 적용한 평가방법을 제시하고자 한다.

ANP의 우선순위 단계에 적용된 전형적인 고유벡터 우선순위법 (Eigenvector prioritization method) 대신 인간의 애매하고 불확실한 비교판단을 다루기 위하여 Fuzzy-ANP를 적용한다. 기존 Fuzzy-AHP에서 적용되었던 퍼지구간 도출 기법인 Extent Analysis Method는 각 평가요소 별 쌍대비교 시에만 적용되는 방법으로 의사결정을 위한 최종가중치를 구하는 supermatrix 연산에는 퍼지개념이 적용되지 않고 있다.

본 연구에서 개발한 Fuzzy-ANP는 쌍대비교에 의한 상대적 가중치를 퍼지구간으로 도출하여 상호 종속관계 표현을 위하여 ANP의 supermatrix에 적용하여 대안에 대한 최종 가중치를 도출해낸다. 기본적인 절차는 기존 Fuzzy-ANP의 절차와 동일하지만 퍼지개념을 확장하여 적용한 구간은 Fig. 1에서 나타나있는 바와 같이 점선으로 표시하였다. 기존에는 퍼지집합 이론에 대한 적용이 쌍대비교 시에만 반영되었다면 본 연구에서는 설문 작성에서부터 최종대안 도출 시까지 반영하였다.



(a) 기존 Fuzzy-ANP (b) 확장된 Fuzzy-ANP

Fig. 1 기존 Fuzzy-ANP와의 의사결정 과정 비교

2.2 확장된 Fuzzy-ANP 알고리즘

본 연구에서는 Fuzzy-ANP 과정 전반에 걸쳐 퍼지집합 이론의 개념을 반영하기 위한 의사결정 절차는 8단계의 절차로 구성된다. 본 연구에서 제안한 확장된 Fuzzy-ANP 의사결정에 대한 세부 절차는 단계 별로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Table 2 퍼지 supermatrix ($\tilde{W}$) 기호정의

Step 1.	의사결정을 위한 특성요소(상위기준, 하위기준) 및 대안으로 네트워크(network) 구성
Step 2.	설문 구성 및 설문 평가 실시
Step 3.	**평가결과로** 각 요소들의 쌍대비교 행렬 구성 및 가중치(퍼지수) 도출
Step 4.	가중 퍼지(Weighted fuzzy) supermatrix를 형성하기 위하여 단계 4에서 도출된 가중치로 초기 퍼지(Initial fuzzy) supermatrix 구성
Step 5.	각 열의 합이 1이 되기 위해서 열 확률적으로 supermatrix를 조정한 후 가중 퍼지 supermatrix 구성
Step 6.	supermatrix의 수렴화를 위하여 퍼지 supermatrix를 비퍼지화한 supermatrix의 최종 가중치가 수렴할 때까지, 즉 최종 가중치의 수렴화의 조건이 $\sum_i \left\|A_i^n - A_i^{n+1}\right\| \le 0.0001$ 을 만족할 때까지 자승연산을 수행하여 극한 퍼지(Limiting fuzzy) supermatrix 도출 (단, 수렴화의 조건이 $\sum_i \left\|A_i^n - A_i^{n+1}\right\| \le 0.0001$ 을 만족하지 않을 경우, supermatrix의 자승연산 횟수가 $n(n \le x)$이 될 때까지 수행하여 최종 가중치에 대한 결과를 도출한다. A_i^n : n회 자승한 비퍼지화된 supermatrix의 i 번째 최종 가중치 A_i^{n+1} : n+1회 자승한 비퍼지화된 supermatrix의 i 번째 최종 가중치)
Step 7.	수렴되지 않을 경우, 초기 퍼지 supermatrix를 다시 구성한 후 단계 4에서 6까지 연산 수행
Step 8.	수렴된 퍼지 supermatrix에서 대안의 최종 가중치 도출

2.3 설문 평가 방법

본 연구에서는 퍼지구간에 대한 판단 척도로써 퍼지집합 이론에서 사용하는 [0,1] 척도를 도입하여 비교 및 평가하였다. 특히 쌍대비교 평가에 적용하기 위한 설문 시 퍼지개념을 도입한 설문양식을 적용하며, 평가 예시는 Fig. 2와 같다.

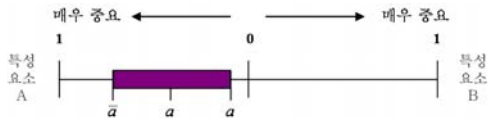


Fig. 2 Fuzzy 평가구간을 적용한 설문 예시

설문 응시자는 평가구간만을 표기하게 되며 설문평가를 토대로 평가값의 상·하한을 정확하게 측정하여 도출하고, 상·하한값을 기준으로 중간값을 산출하여($\underline{a}, a, \overline{a}$)의 퍼지수로 도출해 낸다.

2.4 기호 정의 및 supermatrix 구성

본 연구에서 개발한 Fuzzy-ANP 연산절차는 Table 1의 기호 정의를 따른다.

Table 2 퍼지 supermatrix ($\tilde{W}$) 기호정의

기 호	기 호 정 의
p	: 기준요인의 개수
m	: 대안의 개수
$\tilde{w}$	: 퍼지 supermatrix
$\tilde{a}_{ij}$	퍼지 supermatrix의 열 j 에 대한 행 i 의 퍼지구간 - 삼각퍼지수 $(\underline{a}_{ij}, a_{ij}, \overline{a}_{ij})$ 로 구성 - $i=1,2,\ldots,n$, $j=1,2,\ldots,n$ (단, $n=p+m+1$)
$\underline{a}_{ij}$	: 설문 응시자가 평가한 퍼지구간의 하한값
a_{ij}	: 설문 응시자가 평가한 퍼지구간의 중심값
$\overline{a}_{ij}$	: 설문 응시자가 평가한 퍼지구간의 상한값
$\mu_{\tilde{a}_{ij}}$	: 설문 응시자가 평가한 퍼지구간 $\tilde{a}_{ij}$ 의 소속정도 함수
$defuzz(\tilde{a}_{ij})$	: 퍼지구간의 비퍼지화 값
$\tilde{w}$	: 상대적 중요도의 퍼지구간 (삼각퍼지수)

최종 가중치 도출을 위해 설문 평가에 대한 쌍대비교 행렬을 구성하고 상대적 가중치를 도출한다. 상대적 가중치는 평가요소간 상호 종속관계 표현방법(supermatrix)에 적용하여 퍼지 supermatrix($\tilde{W}$)로 나타낸다. 식 (1)의 상대적 중요도 $\tilde{w}_{ij}$ 로 구성된 $\tilde{W}$ 는 식 (2)와 같이 정의될 수 있으며 삼각퍼지수를 구성요소로 하는 퍼지 supermatrix로 구성된 형태이다. 또한 $\tilde{w}_{ij}$ 로 구성된 퍼지 supermatrix는 식 (2)와 같이 나타내어진다.

$$\tilde{w}_{ij} = \left(\underline{w}_{ij}, w_{ij}, \overline{w}_{ij}\right), \quad i=1,2,\ldots,n, \quad j=1,2,\ldots,n \tag{1}$$

$$\tilde{W} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_{11} & \tilde{w}_{12} & \cdots & \tilde{w}_{1n} \\ \tilde{w}_{21} & \tilde{w}_{22} & \cdots & \tilde{w}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_{n1} & \tilde{w}_{n2} & \cdots & \tilde{w}_{nn} \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$= \begin{bmatrix} \left(\underline{w}_{11}, w_{11}, \overline{w}_{11}\right) & \left(\underline{w}_{12}, w_{12}, \overline{w}_{12}\right) & \cdots & \left(\underline{w}_{1n}, w_{1n}, \overline{w}_{1n}\right) \\ \left(\underline{w}_{21}, w_{21}, \overline{w}_{21}\right) & \left(\underline{w}_{22}, w_{22}, \overline{w}_{22}\right) & \cdots & \left(\underline{w}_{2n}, w_{2n}, \overline{w}_{2n}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\underline{w}_{n1}, w_{n1}, \overline{w}_{n1}\right) & \left(\underline{w}_{n2}, w_{n2}, \overline{w}_{n2}\right) & \cdots & \left(\underline{w}_{nn}, w_{nn}, \overline{w}_{nn}\right) \end{bmatrix}$$

단, $i=1,2,..,n$, $j=1,2,..,n$, $\tilde{w}_{ij} = (\underline{w}_{ij}, w_{ij}, \overline{w}_{ij})$, $0 \le \underline{w}_{ij} \le w_{ij} \le \overline{w}_{ij}$

$\tilde{W}$ 의 각 열은 네트워크의 j번째 성분에 있는 한 요소에 대한 i번째 성분에 있는 요소들의 영향을 나타내는 주 고유벡터이다.

2.5 퍼지 supermatrix의 극한 연산

supermatrix는 수렴성을 갖기 위하여 열 확률적으로 조정이 되는데, 이는 supermatrix가 수렴을 하기 위해서 열의 합이 반드시 1이 되어야 한다는 의미이다. 또한 평가요소에 대한 최종 우선순위는 supermatrix의 수렴화로 인하여 얻어진다는 것을 알 수 있다. supermatrix를 거듭제곱해 나가면 일정한 값에 수렴되며, 극한 우선순위를 갖는다. 이러한 극한확률의 개념은 앞서 설명한 바와 같이 마코브체인과 동일한 개념으로 supermatrix에 적용되었다.[3] 또한 퍼지 매트릭스간 곱을 ($\circ$)로 표기하고, 극한 우선순위를 도출해 내기 위해 $n \in \mathrm{R}$, $k=1,2,\ldots,n$ 일 때, 식 (3)을 기초로 supermatrix 내부의 행과 열을 구성하는 요소들이 수렴될 때까지 거듭제곱 해 나간다. 항상 제곱연산 수행 후에는 비퍼지화를 통하여 수렴성을 파악한다.

$$\tilde{W}^2 = \tilde{W} \circ \tilde{W} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_{11} & \tilde{w}_{12} & \cdots & \tilde{w}_{1n} \\ \tilde{w}_{21} & \tilde{w}_{22} & \cdots & \tilde{w}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{w}_{n1} & \tilde{w}_{n2} & \cdots & \tilde{w}_{nn} \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} \tilde{w}_{11} & \tilde{w}_{12} & \cdots & \tilde{w}_{1n} \\ \tilde{w}_{21} & \tilde{w}_{22} & \cdots & \tilde{w}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{w}_{n1} & \tilde{w}_{n2} & \cdots & \tilde{w}_{nn} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{1k} \otimes \tilde{w}_{k1}) & \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{1k} \otimes \tilde{w}_{k2}) & \cdots & \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{1k} \otimes \tilde{w}_{kn}) \\ \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{2k} \otimes \tilde{w}_{k1}) & \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{2k} \otimes \tilde{w}_{k2}) & \cdots & \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{2k} \otimes \tilde{w}_{kn}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{nk} \otimes \tilde{w}_{k1}) & \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{nk} \otimes \tilde{w}_{k2}) & \cdots & \tilde{\bigcup_{k=1}^{n}}(\tilde{w}_{nk} \otimes \tilde{w}_{kn}) \end{bmatrix} \tag{3}$$

단, $n \in \mathrm{R}$, $i=1,2,\ldots,n$, $j=1,2,\ldots,n$, $k=1,2,\ldots,n$

4. 결론

본 연구에서는 기존의 상호독립성을 보장하는 Fuzzy-AHP의 한계성과 의사결정을 위한 설문응시자의 평가판단을 최종 의사결정까지 반영하지 못한다는 한계를 극복하기 위하여 확장된 Fuzzy-ANP를 개발하였다. 특히 기존 연구에서 퍼지개념은 설문응시자의 설문작성 시 반영되지 않았지만 본 연구에서는 설문응시자의 애매모호한 의사표현을 퍼지구간으로 표현하고, 퍼지화하여 최종 가중치 도출을 위한 분석에 적용할 수 있는 방법론을 개발하였다.

추후 연구과제는 복잡한 기업의 의사결정 문제 즉, 기업에서 정보시스템 선정 시 각 모듈 및 시스템 선정요소 간의 연관관계 분석을 통해 가중치를 결정하고, 퍼지 supermatrix 적용을 통하여 시스템을 선정할 수 있는 수치데이터 분석을 진행함으로서 Fuzzy-ANP 방법론에 대한 실제 적용이 이루어져야 할 것이다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 수행하는 지식경제 기술혁신사업의 일환인 "i매뉴팩처링(한국형 제조혁신) 사업"에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chan, L. K., Kao, H. P., Ng, A., and Wu, M. L., "Rating the importance of customer needs in quality function deployment by fuzzy entropy methods", International Journal of Production Research, Vol. 37, pp. 2499-2518, 1999.
2. Chang, D. Y., "Application of the extent analysis method on fuzzy AHP", European Journal of Operational Research, Vol. 95, pp. 649-655, 1996.
3. Laarhoven, P. J. M. and Pedryca, W., "A fuzzy extension of Saaty's priority theory", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 11, pp. 229-241, 1983.