

공급업체 우선순위 선정을 위한 Fuzzy ANP의 활용

정 옥[†]

동국대학교 서울캠퍼스 경영학과

Fuzzy ANP Application for Vender Prioritization

Uk Jung[†]

Dept. of Management, Dongguk University-Seoul

Vender prioritization process is one of the most critical tasks of production and logistics management for many companies. Determining the most critical criteria for vender prioritization process is a vital means for a purchasing company to improve its supply chain productivity. This study discuss the use of a Fuzzy analytic network process (Fuzzy ANP) model which is an efficient tool to handle the fuzziness of the data involved in deciding the preferences of different criteria which are not independent. Also, the comparison of classical ANP and Fuzzy ANP is described using simulation with triangular distribution random number generation. It is shown that Fuzzy ANP model possesses some attractive properties and could be used as an alternative to the known vender prioritization methods.

Keywords : Vender Prioritization, Fuzzy ANP, Evaluation Criteria, Network Structure

1. 서 론

공급사슬관리에서 우수한 공급업체의 선정은 구매 기업의 시장 경쟁력 확보에 있어서 중요한 요소인 제품의 품질, 가격, 제조 유연성, 납기 준수 능력 등에 지대한 영향을 미치는 중대한 의사결정이다[10]. 따라서 우수한 공급업체의 확보 및 효율적인 공급관계 관리가 중요한 전략적 요인으로 부각됨에 따라 기업의 공급사슬관리 활동 중에서도 우수한 공급업체의 선정 및 관리는 기업의 주요 관심사가 되고 있다.

일반적으로 공급업체를 선정하는 문제는 다수의 평가 요인으로부터 다수의 선택대안들을 평가해야 하는 전형적인 다 기준 의사결정(multiple criteria decision making; MCDM) 문제의 한 형태를 띠고 있다. MCDM 문제에 있어서 가장 널리 쓰이는 AHP(analytic hierarchy process)는 하나의 문제를 여러 계층구조를 가지는 다수의 수준으로

분해하고 각 수준에 존재하는 상호 독립적인 각 의사결정 요소들에 대하여 각 대안들을 평가함으로써 매우 구조적이고 합리적인 의사결정을 가능하게 한다는 장점이 있다[1, 27].

그러나 다음의 두 가지 측면을 고려해 볼 때 기존의 AHP는 다른 기법들과 혼용되어 사용되어야 할 필요가 있다. 첫째, 대부분의 평가자는 자신의 평가를 단일의 숫자로 표현하는 것보다 숫자들의 구간(interval)으로 표현하는 것에 보다 큰 확신을 가진다. 이는 상대비교 자체가 가지는 애매모호함의 특성 때문에 평가자 자신이 자신의 의사를 crisp number로 명확히 표현하는 것이 불가능하기 때문이다. 쌍대 비교(Pair-wise comparison)를 수행하는 과정에서 개인의 선호도를 표현함에 있어서 불확실성이 존재하는 퍼지(Fuzzy)한 것으로 보고, 이를 구간을 이용하여 퍼지수(Fuzzy number)로 정의할 경우 퍼지수로 구성된 쌍대 비교 행렬로부터 각 속성들의 가중

치를 측정하는 데에는 기존 AHP의 고유벡터법(Eigenvector method)을 이용할 수 없다. 즉 퍼지수로 표현된 선호도로부터 각 평가요인들의 가중치를 구해내는 방법이 필요하다. 두 번째, 경우에 따라서는 한 공급업체의 선정 평가 문제에서 특정 평가요인에 대한 평가치는 다른 평가요인들에 대한 평가치와 상호 관련성이 존재하여 평가요인이 상호 독립적이라는 AHP의 가정이 적절하지 않은 경우들이 존재한다. 예를 들면, 한 평가요인으로 공급업체의 '자체혁신능력'이라는 요소가 있다고 하면 어느 한 공급업체의 우수한 자체혁신능력은 해당 공급업체의 또 다른 평가요인인 '납품능력'의 향후 발전에 도움이 되는 방향으로 영향을 미칠 것이다. 또한 구매업체의 주문수량 변경에 대응하는 능력 등을 나타내는 조직의 '유연성'이라는 평가요인의 평가치가 높은 공급업체는 이로 말미암아 또 다른 평가요인인 제품의 '가격경쟁력' 측면에서 상대적으로 높은 가격으로 인한 낮은 평가를 받을 수도 있을 것이다. 이처럼 다수의 평가요인들 간에는 상호관련성이 존재하며 이는 공급업체의 선정 시에 반영되어야 함이 타당하다.

본 연구는 이와 같은 공급업체의 선정이라는 문제가 다양한 평가요인을 지닌 상태에서 평가요인들 간의 중요성에 대한 평가에 애매모호함이 존재하는 경우 합리적인 의사결정 모형으로 Fuzzy ANP(Fuzzy Analytic Network Process)을 이용하고자 한다. Fuzzy ANP는 기존의 퍼지이론(Fuzzy Theory)과 ANP(Analytic Network Process)를 혼용시킨 기법으로 앞서 AHP의 두 가지 한계점을 극복하는데 도움을 준다. ANP의 사용은 기존의 AHP를 의사결정 요소간 의존(dependence)과 피드백(feedback)을 내포하는 보다 복잡한 구조의 네트워크(network) 문제로 확장시킨다[25]. 이와 같은 개념의 확장은 문제 내에 존재하던 계층 구조를 네트워크 구조로 대체함으로써 의사결정 요소(기준)들 간의 복잡한 상호관계성을 포함하게 만든다[19]. 한편, 중요도 및 선호도의 애매모호한 표현이 퍼지수의 표현방식으로 표현될 때 평가기준들과 대안들의 가중치를 구하는 문제를 해결하기 위하여 그 동안 많은 대안들이 소개되어 왔다[5, 6, 17, 20, 21]. 이러한 기법들은 기존의 AHP 기법에 퍼지집합 이론(Fuzzy set theory)의 개념을 접목하여 대안들을 평가하기 위한 체계적인 접근방법들이다. Pang[24]는 공급업체의 우선순위를 결정하기 위하여 Mikhailov[20]이 제안한 FPP(Fuzzy Preference Programming)를 이용하여 두 숫자의 구간으로 표현된 퍼지 쌍대비교 행렬로부터 선형계획법을 이용하여 평가요인들의 가중치를 계산한 후 ANP 절차와 접목시켰다. FPP가 다른 퍼지 우선순위 결정방식들보다 상대적으로 우월한 점들이 있으나(Mikhailov[20]) 수학적 계산의 복잡성 때문에 실용성의 측면에서의 단점이 지적되어

왔다[4]. 본 연구에서는 퍼지이론과 관련된 기법들 중에서 Chang[5]이 제안했던 한계분석 방법(extent analysis method, 이하 Chang's EAM)을 사용한다. Chang's EAM은 다른 여러 기존에 제안된 방법들과 비교해 상대적으로 계산량이 작아 사용하기에 쉽고 편리하다는 장점이 있다[4].

본 연구에서는 자사의 요구에 맞는 우수한 공급업체를 선정하는 데 있어서 고려되어야 하는 평가요인들을 기존의 문헌 연구를 통하여 규명하고 이들의 상호관련성을 고려한 상대적인 중요도를 도출하여 공급업체의 경쟁능력을 평가할 수 있는 평가모형을 제시하고자 한다. 그리고 다양한 환경에서 적용할 수 있는 본 평가모형을 설명하기 위하여 한 가상의 기업에서 종사하는 의사결정자가 특정 단일품목을 구매할 때 고려할 수 있는 네 개의 공급업체들을 평가하는 사례를 이용한다.

또한 Fuzzy ANP와 기존 ANP의 근본적인 차이점이라고 할 수 있는 퍼지 쌍대비교와 일반 쌍대비교의 차이를 설명하고자 삼각분포(triangular distribution)를 이용한 Monte Carlo 시뮬레이션의 결과를 소개한다.

본 논문의 이후 내용은 다음과 같다. 제 2장에서는 본 연구의 이론적 배경인 퍼지집합 이론, 한계분석 방법론, 그리고 ANP에 대해 알아보고, 제 3장에서는 공급업체의 선정 평가를 목적으로 구성된 본 연구의 제안모형과 그 적용사례에 대해 자세히 기술하고 제 4장에서는 Fuzzy ANP와 일반 ANP의 차이를, 그리고 제 5장에서는 본 연구를 통해 얻은 결론에 대해서 언급하기로 한다.

2. 이론적 배경

2.1 퍼지집합 이론(Fuzzy Set Theory)

퍼지이론은 퍼지집합론(Fuzzy Set Theory)의 사고방식을 기초로 애매모호성이 포함된 불확실성의 분석에 사용되는 수학적 모델로서 Zadeh[31]에 의해 연구가 시작되었으며 많은 분야에서 응용되어 오고 있다. 퍼지이론은 기존의 논리체계보다 인간의 사고를 나타내는 자연언어의 특성과 유사성을 많이 가지고 있으므로 실제 세계의 불확실한 현상을 기술하는데 효과적으로 이용될 수 있다. 퍼지집합 이론의 내용을 요약하면 다음과 같다.

어떤 모집합 U 의 퍼지집합 A 는 U 내의 각 원소 x 의 멤버십 함수 $\tilde{M}_A(x)$ 에 의해 구체화 된다. 원소 $x \in U$ 에 대한 값 $\tilde{M}_A(x) : R \rightarrow [0, 1]$ 은 퍼지집합 A 에 속한 소속 정도(Grade of Membership)를 나타낸다. 불확정 경계를 표현하는 퍼지집합의 함수에는 삼각형(Triangular) 함수, 사다리형(Trapezoidal) 함수, 가우스형(Gaussian) 함수, 종형

(Bell) 함수 등이 있으며 함수의 선택과 그 중첩 정도의 선택은 대상문제의 종류 또는 전문가의 선호도에 따라 많이 다르며 시행착오에 의해 최적의 것을 결정할 수도 있다.

본 연구에서는 간편하며 널리 사용되는 삼각퍼지함수 $\tilde{M}_A(x) = (l, m, u)$ 를 사용하며 이때 각 원소들의 멤버십 함수값은 다음과 같이 정의된다.

$$\tilde{M}_A(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & 1 \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

여기서 m 은 삼각퍼지함수 $\tilde{M}_A(x)$ 의 가장 가능성 있는 값을 의미하고 l 과 u 는 각각 하한값과 상한값을 의미한다($l \leq m \leq u$). 두 삼각퍼지함수 $\tilde{M}_1(x) = (l_1, m_1, u_1)$ 와 $\tilde{M}_2(x) = (l_2, m_2, u_2)$ 의 연산은 벡터연산과 비슷하게 각 원소별로 이루어 진다($l_1 \geq 0$ and $l_2 \geq 0$).

- 삼각퍼지함수의 덧셈 :

$$\tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

- 삼각퍼지함수의 곱 :

$$\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$$

- 삼각퍼지함수의 역수 :

$$\tilde{M}_1^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right)$$

2.2 한계분석 방법론(Extent Analysis Method)

기존의 AHP 기법은 불분명한 선택의 문제에 있어서 문제를 계층적으로 분석하여 정성적인 특성들을 정량적인 평가치에 의해 객관적으로 평가할 수 있다. 그러나 정성적인 특성들이 주로 퍼지(Fuzzy)한 언어표현으로 구성되어 있을 때 기존의 AHP 기법은 사용하는 데 한계가 있다. 즉, 쌍대 비교(Pair-wise comparison)를 수행하는 과정에서 개인의 선호도를 퍼지한 것으로 보고, 이를 퍼지한 수로 정의할 경우 퍼지수의 방식으로 구성된 쌍대 비교 행렬로부터 각 속성들의 가중치를 추정하는 방법론이 필요하다. 즉, 각각의 쌍대 비교 결과를 퍼지수로 다루어야 하기 때문에 Saaty의 고유벡터법(eigen vector method)을 이용할 수 없다. AHP 분석과정에서 퍼지수를 다루기 위한 몇 가지 방법들이 제안되었지만 본 연구에서는 Chang's EAM(Chang's Extent Analysis Method)을 사용하기로 하

고 구체적인 방법론의 설명은 다음과 같다[5].

퍼지 쌍대비교 행렬 E 가 다음과 같다고 가정하면($i, j = 1, 2, \dots, n$),

$$E = \begin{bmatrix} \tilde{M}_{11} & \dots & \tilde{M}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{M}_{n1} & \dots & \tilde{M}_{nn} \end{bmatrix} \text{ where } \tilde{M}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}),$$

$i = j$ 인 모든 \tilde{M}_{ij} 에서는 $\tilde{M}_{ij} = (1, 1, 1)$ 이고, $i \neq j$ 인 경우의 모든 \tilde{M}_{ij} 에서는 $l_{ij} = 1/u_{ji}$, $m_{ij} = 1/m_{ji}$, $u_{ij} = 1/l_{ji}$ 의 관계가 성립한다.

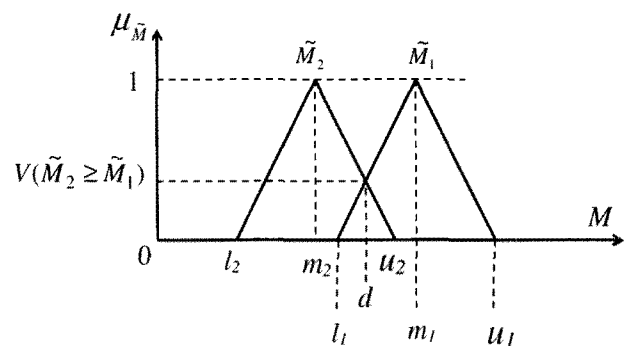
- (1) i 번째 요소의 퍼지 합성 한계값(Fuzzy synthetic extent)을 \tilde{S}_i 라 하면, \tilde{S}_i 는 다음과 같이 정의된다.

$$\tilde{S}_i \approx \sum_{j=1}^n \tilde{M}_{ij} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{M}_{ij} \right]^{-1}$$

- (2) 퍼지 합성 한계값은 주어진 정보에 대한 가능성의 정도(Degree of possibility)를 구하는데 적용되며, 삼각퍼지함수 $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ 가 $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 보다 크거나 같을 가능성의 정도 $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \text{hgt}(\tilde{M}_2 \cap \tilde{M}_1) = \tilde{M}_2(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

<그림 1>은 $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$ 를 묘사하고 있으며 여기서 d 는 \tilde{M}_1 과 \tilde{M}_2 의 교차점의 횡좌표를 의미한다.



<그림 1> 퍼지수의 가능성의 정도(Degree of Possibility) $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$

- (3) 삼각퍼지함수 \tilde{M} 이 다른 k 개의 삼각퍼지함수 \tilde{M}_i ($i=1, 2, \dots, k$)보다 클 가능성의 정도는 다음과 같이 정의된다.

$$V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \dots, \tilde{M}_k) \\ = \min V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_i), i=1, 2, \dots, k$$

여기서 $d(A_i) = \min V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$, $j=1, 2, \dots, n$, $j \neq i$ 를 가정하면 각 요소들, A_i ($i=1, 2, \dots, n$)의 가중치 벡터는 다음과 같다.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))$$

- (4) 끝으로 이를 정규화하면 다음과 같은 각 요소들의 정규화 된 가중치 벡터 W 를 구할 수 있다.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)) \\ \text{where } \sum_{i=1}^n d(A_i) = 1$$

2.3 네트워크 분석과정(ANP)

ANP는 가장 널리 쓰이는 다 기준 의사결정 기법 중 하나인 AHP(Analytic Hierarchy Process; Saaty, 1980)보다 일반화된 형태로 역시 Saaty[25]에 의해 개발되었다. AHP는 하나의 문제를 여러 계층구조를 가지는 다수의 수준으로 분해하고 각 수준에 존재하는 각 의사결정 요소들이 상호 독립적이라고 가정하고 있다. 그러나 ANP는 이러한 AHP를 의사결정 요소 간 의존(dependence)과 피드백(feedback)을 내포하는 다른 문제로 확장시킨다. 이와 같은 개념의 확장은 문제 내에 존재하던 계층 구조를 네트워크 구조로 대체함으로써 의사결정 요소(기준)들 간의 복잡한 상호관계성을 포함하게 만든다[19]. 최근 품질[3], 로지스틱스[13], 구매[8], 전략[30], 생산[18], 프로젝트[7], 제품디자인[29] 등을 위한 의사결정 문제에 이러한 ANP의 적용사례들을 볼 수 있다. ANP의 적용과정은 다음의 주요 여섯 단계를 거치게 된다[2]. 1) 네트워크 모형의 구축, 2) 쌍대 비교 및 선호도 벡터 생성, 3) 초행렬(supermatrix)의 생성, 4) 가중 초행렬(weighted supermatrix)의 생성, 5) 극한 초행렬(limit supermatrix)의 생성, 6) 최종 선호도 계산.

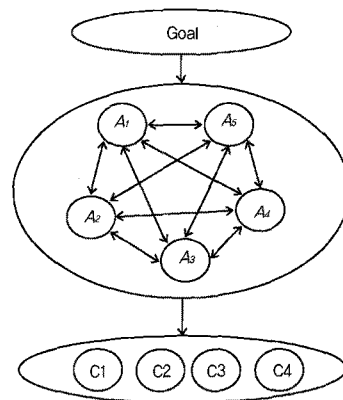
ANP에 대한 보다 자세한 사항은 다음의 적용사례의 단계별 묘사를 통해 상세히 설명된다.

3. 제안 모형 및 적용사례

공급업체 선정에서의 다양한 평가요인들에 대한 중요도는 구매업체가 구매하려고 하는 제품, 구매업체의 장기적인 비전, 구매업체가 속해있는 산업의 특성 별로 다양할 수 있다. 그리고 공급업체를 선정해야 하는 구매업체의 업무 담당자들도 다양한 의견 및 철학을 가질 수 있다. 본 연구에서는 이러한 다양한 환경에서 적용할 수 있는 기본적인 의사결정의 한 방법론을 설명하는 것을 목적으로 하고 있으므로 어느 한 가상의 기업에서 종사하는 어느 의사결정자가 특정 단일품목을 구매하고자 할 때 네 개의 공급업체들을 평가하는 사례를 이용하여 본 논문에서는 사용하는 Fuzzy ANP 기법을 소개하고자 한다.

STAGE 1 : 공급업체 선정을 위해 고려해야 할 평가의 요인들을 정의한다.

먼저 공급업체의 선호도를 결정할 시 고려될 필요가 있는 평가요인들에 대한 과거 연구문헌들을 조사하여 본 연구에서는 비용(A_1), 품질(A_2), 납품능력(A_3), 혁신능력(A_4), 그리고 유연성(A_5)의 5가지 대표적 평가요인들을 선정하였다. 공급업체 평가 요인에 관한 과거의 연구들은 가격, 품질, 서비스 등을 주요 요인으로 평가하였으나, 공급업체와의 장기적인 관계를 중요시하면서부터 납품능력, 유연성, 혁신능력 등과 같은 다양한 다른 요인들을 평가요인으로 고려하기 시작하였다. 각 평가요인들에 대한 자세한 설명은 다음의 선행연구들을 통해 살펴볼 수 있다[9, 26, 23, 11, 22, 10, 12, 16, 28, 15].



<그림 2> 공급업체 선정을 위한 ANP 모형

STAGE 2 : 평가요인들을 ANP 모형에 맞게 상호연관성을 고려하여 네트워크 구조화 시킨다.

<그림 2>는 다섯 개의 평가요인들로 구성된 일반적인 ANP 모형의 간단한 예시이다. 이는 ANP에서 사용되는 네

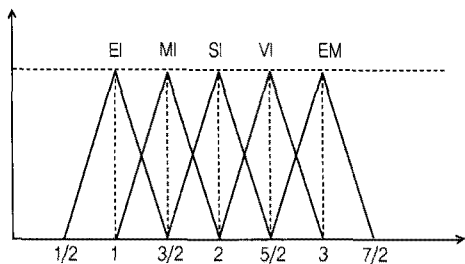
<표 1> 최상위 목표에 대한 퍼지 쌍대 비교 행렬

	비용(A ₁)	품질(A ₂)	납품능력(A ₃)	혁신능력(A ₄)	유연성(A ₅)
비용(A ₁)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(2, 5/2, 3)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 1, 3/2)
품질(A ₂)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)	(1/3, 2/5, 1/2)
납품능력(A ₃)	(1/3, 2/5, 1/2)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)	(1/2, 2/3, 1)	(1/3, 2/5, 1/2)
혁신능력(A ₄)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 3/2, 2)	(1, 3/2, 2)	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)
유연성(A ₅)	(2/3, 1, 2)	(2, 5/2, 3)	(2, 5/2, 3)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)

트위크 모형의 다양한 형태들 중 통제계층(control hierarchy)의 형태를 띤 모형으로써 이는 공급업체 선정의 최상위 목표 아래 다수의 평가요인들이 다양한 가중치를 가지게 되는 형태이다[25]. 특히 이 형태는 평가요인 수준에서 상호간의 영향력이 존재하는 것을 가정하고 있다.

STAGE 3 : 최상위 목표를 기준으로 평가요인들 간의 직접적 영향력의 가중치(I_j^p)를 쌍대 비교를 통해 결정한다(상호 영향력은 무시한다).

평가요인들의 상대적인 중요도 가중치를 측정하기 위하여 본 논문에서의 평가척도는 Kahraman et al.[14]에 의해 제안된 <그림 3>과 같은 퍼지함수를 사용한다. 평가요인들 간의 상대적 중요도 가중치는 Chang's EAM에 의해 결정된다. 이 결과는 최상위 목표를 위한 평가요인들의 직접적 영향력을 표현하게 된다. 공급업체 선정이라는 최상위 목표를 기준으로 다섯 가지 평가요인들의 직접적인 영향력의 가중치를 퍼지 쌍대비교를 통해 평가자가 결정한다. 예를 들어, 비용(A₁)과 품질(A₂)이 쌍대비교 될 때 “공급업체 선정이라는 최종 목표에 비추어볼 때 비용(A₁)은 품질(A₂)에 비해 얼마나 더 중요한가”라는 질문에 평가자가 “훨씬 더 중요하다(SI)”라고 평가한다면 삼각퍼지함수의 표현(3/2, 2, 5/2)이 퍼지 쌍대 비교행렬 <표 1>의 A₁ 행 A₂열에 위치한 셀에 표기된다.



<그림 3> 평가항목간 상대적 중요도 평가를 위한 퍼지 멤버십 함수(Equally important(EI); Moderately more important(MI); Strongly more important(SI); Very strongly more important(VI); Extremely more important(EM))

이와 같은 방식으로 정리된 <표 1>의 최상위 목표에 대한 퍼지 쌍대 비교 행렬로부터 Chang's EAM을 적용하여 각 요소들의 퍼지합성 한계값(fuzzy synthetic extent) \tilde{S}_i 를 구하면 다음과 같다.

$$\tilde{S}_1 = (6.00, 8.00, 10.00) \otimes \left(\frac{1}{37.17}, \frac{1}{29.03}, \frac{1}{22.57} \right) = (0.16, 0.28, 0.44)$$

$$\tilde{S}_2 = (3.23, 4.07, 5.17) \otimes \left(\frac{1}{37.17}, \frac{1}{29.03}, \frac{1}{22.57} \right) = (0.09, 0.14, 0.23)$$

$$\tilde{S}_3 = (2.67, 3.13, 4.00) \otimes \left(\frac{1}{37.17}, \frac{1}{29.03}, \frac{1}{22.57} \right) = (0.07, 0.11, 0.18)$$

$$\tilde{S}_4 = (4.50, 6.17, 8.00) \otimes \left(\frac{1}{37.17}, \frac{1}{29.03}, \frac{1}{22.57} \right) = (0.12, 0.21, 0.35)$$

$$\tilde{S}_5 = (6.17, 7.67, 10.00) \otimes \left(\frac{1}{37.17}, \frac{1}{29.03}, \frac{1}{22.57} \right) = (0.17, 0.26, 0.44)$$

그런 다음 각 평가요인간의 가능성의 정도(degree of possibility, $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$)와 각 평가요인들의 가중치($d(A_i)$)를 구하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 가능성의 정도와 요소별 가중치

	$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$					$d(A_i)$
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	
$i=1$	/	1	1	1	1	1
$i=2$	0.33	/	1	0.60	0.34	0.33
$i=3$	0.09	0.74	/	0.35	0.07	0.07
$i=4$	0.75	1	1	/	0.78	0.75
$i=5$	0.96	1	1	1	/	0.96

<표 2>의 결과로부터 각 요인들의 가중치 벡터는 아래와 같다.

<표 3> 품질(A₂)에 대한 다른 평가요인들의 퍼지 쌍대 비교 행렬 및 최종 가중치

	A ₁	A ₃	A ₄	A ₅	가중치
A ₁	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)	(2, 5/2, 3)	(3/2, 2, 5/2)	0.483
A ₃	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 3/2, 2)	0.331
A ₄	(1/3, 2/5, 1/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	0.041
A ₅	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	0.145

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$$

$$= (1.00, 0.33, 0.07, 0.75, 0.96)^T$$

마지막으로 W'를 정규화 시키면 평가요인들의 직접적인 영향력의 최종 가중치(I_j^D)는 다음과 같다.

$$I^D = (I_1^D, I_2^D, I_3^D, I_4^D, I_5^D)$$

$$= (0.321, 0.107, 0.022, 0.242, 0.308)$$

STAGE 4 : 최상위 목표를 위한 평가요인들의 간접적 영향력의 가중치(I_j^I)를 계산한다.

이를 위해 먼저, 평가요인들 간의 상호 영향력을 고려하여 특정 평가요인을 기준으로 나머지 평가요인들 간의 쌍대 비교를 통해 나머지 평가요인들의 상대적 중요도 가중치를 결정한다. 여기서는 Chang's EAM을 통해 얻은 평가요인들 간의 상대적 중요도 가중치를 이용하여 Saaty[25]의 초행렬(supermatrix)을 구성한 이후 ANP 기법을 통해 최상위 목표를 위한 평가요인들 간의 간접적 영향력의 가중치(I_j^I)를 극한 초행렬(limit supermatrix)로부터 구하게 된다.

본 적용사례에서는, 예를 들어, <표 3>은 품질(A₂)에 대한 다른 평가요인들의 퍼지 쌍대 비교 행렬 및 최종 가중치를 나타낸 것이다. 이와 같은 방식으로 모든 다섯 가지의 평가요인들(A₁, A₂, A₃, A₄, A₅) 각각을 기준으로 나머지 평가요인들 간의 퍼지 쌍대 비교 행렬을 완성하고 그로부터 각 요인들의 중요도 가중치를 계산하여 ANP 모형의 초행렬 <표 4>을 구성한다.

<표 4> 간접적 영향력 파악을 위한 초행렬(Supermatrix)

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
A ₁	0	0.483	0.280	0.333	0.281
A ₂	0.371	0	0.189	0.134	0.132
A ₃	0.251	0.331	0	0.226	0.258
A ₄	0.114	0.041	0.205	0	0.329
A ₅	0.263	0.145	0.326	0.308	0

본 연구에서의 초행렬은 상호관련성이 있다고 전제된 다섯 가지 모든 평가요인들 로만 구성되어 있으므로 이미 column stochastic하고, 그러므로 이미 가중 초행렬의 형태를 이미 띠고 있으며 초행렬은 바로 극한 초행렬로 전환될 수 있다. 본 연구에서의 초행렬의 11 자승에서 극한 초행렬이 구해졌으며 그 결과는 <표 5>에 정리되어 있다. 평가요인들 간의 상호 관련성에서 기인한 최종 목적에 대한 간접적 영향력의 안정화된 값은 본 극한 초행렬의 공통된 행 값으로 파악되어 각 평가요인들의 가중치는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I^I = (I_1^I, I_2^I, I_3^I, I_4^I, I_5^I)$$

$$= (0.254, 0.181, 0.210, 0.148, 0.207)$$

<표 5> 극한 초행렬(Limit Supermatrix)

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
A ₁	0.254	0.254	0.254	0.254	0.254
A ₂	0.181	0.181	0.181	0.181	0.181
A ₃	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210
A ₄	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148
A ₅	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207

STAGE 5 : 평가요인 j(j=1, ..., J)의 최종 가중치(w_j)를 결정한다.

STAGE 3을 통해 구해진 평가요인들의 최상위 목표에 대한 직접적인 중요도 가중치(I_j^D)와 STAGE 4를 통해 구해진 간접적인 중요도의 가중치(I_j^I)가 서로 곱해지면 최상위 목표에 대한 각 평가요인들의 최종 가중치 벡터(W_{final})가 결정된다. 즉, 평가요인 j의 최종 가중치(w_j)는 w_j = (I_j^DI_j^I) / (∑_{j=1}^J I_j^DI_j^I), j=1, ..., J와 같이 구해진다. 본 적용사례에서는 다음과 같이 계산되었다.

$$W_{final} = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)$$

$$= (0.398, 0.094, 0.023, 0.175, 0.311)$$

STAGE 6 : 각 평가요인에 대한 공급업체들의 정량적 평가를 수행한다.

본 적용사례에서는 각 평가요인(j)에 대해 대안 공급업체(i)들을 100점 기준으로 평가하여 정량적인 평가치(R_{ij})를 산출했다고 가정하고 <표 6>에 나타내었다.

STAGE 7 : 공급업체들의 최종 선호도를 계산한다.

STAGE 5에서 구한 평가요인의 최종 가중치(w_j)와 STAGE 6에서 구한 평가요인 별 공급업체의 정량적인 평가점수(R_{ij})를 곱하여 공급업체의 최종 선호도(F_i)를 계산한다. 공급업체들의 최종 선호도는 Meade and Sarkis[19]의 연구에서 사용되었던 접근방식과 유사하게 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$F_i = \sum_{j=1}^J w_j R_{ij}$$

공급업체들의 최종 선호도(F_i)는 <표 6>에서와 같이 계산된다.

<표 6>의 세 번째 행은 최상위 평가목표에 대한 평가요인의 직접적 영향력의 가중치(I_j^D)를, 네 번째 행은 간접적 영향력의 가중치(I_j^I)를 각각 나타낸 것이고, 다섯 번째 행은 이 두 가중치를 통합한 최종 가중치(w_j)를 나타낸다. 그리고 여섯 번째부터 아홉 번째 행은 네 공급업체(C1, C2, C3, C4)들의 평가요인(j) 별 평가치($R_{1j}, R_{2j}, R_{3j}, R_{4j}$)를 나타낸다. 그리고 평가요인별의 최종 가중치와 각 공급업체별 평가치들의 곱들의 합인 최종선호도(F_i)가 여덟 번째 열에 나타나 있다. 마지막으로 각 공급업체들의 상대적인 선호도를 파악하여 최종 선호 순위가 최종 열에 나타나 있다. 본 사례연구에서 드러난 선호되는 공급업체는 C4, C2, C3, 그리고 C1의 순서인 것으로 드러났다.

4. ANP와 Fuzzy ANP의 비교

본 절에서는 본 논문의 Fuzzy ANP과 기존 ANP의 결과가 어떻게 다른지를 살펴보고자 한다. 사실 이 질문은 보다 근본적으로 말하자면 Fuzzy number로 구성된 쌍대 비교 행렬을 이용해 구해낸 평가요인들의 가중치와 crisp number로 구성된 쌍대 비교 행렬을 이용해 구해낸 평가요인들의 가중치가 어떻게 다른지를 살펴보는 것과 동일하다. 이는 Fuzzy ANP와 전형적인 ANP의 방법론이 쌍대 비교를 통해 평가요인들의 가중치를 구해낸 이후 단계부터는 동일하기 때문이다.

Fuzzy ANP에서 Fuzzy logic이 사용되는 이유는 앞서 언급한 바와 같이 인간의 사고 판단에서 존재하는 애매 모호성을 표현하기 위함이다. 즉, Fuzzy number로 표현된 인간의 판단을 crisp number로 표현할 때 인간의 주관적 성향으로 말미암아 개인에 따라 crisp number에 큰 변동성이 존재할 수 있고, 이는 평가요인들의 가중치에 변동성을 초래하게 된다. 예를 들면, 평가자가 <그림 3>의 삼각퍼지함수들 중 “훨씬 더 중요하다(SI)”를 선택한다면 이는 평가자에 따라 3/2에서부터 5/2사이의 다양한 crisp number들을 가질 수 있다. 이러한 주관적 판단의 변동성은 평가요인들의 중요도 가중치의 변동성을 유도하게 되므로 이를 피하기 위하여 본 논문에서는 Chang's EAM을 활용한 것이다. 이처럼 crisp number를 활용하는 쌍대 비교에서 발생하는 변동성을 감안할 때 평가요인들의 가중치가 어떤 변화하게 되는지를 파악하기 위하여 본 논문에서는 <그림 3>의 퍼지함수를 반영한 삼각분포(triangular distribution) Monte Carlo 시뮬레이션 결과를 Chang's EAM 결과와 비교하고자 한다.

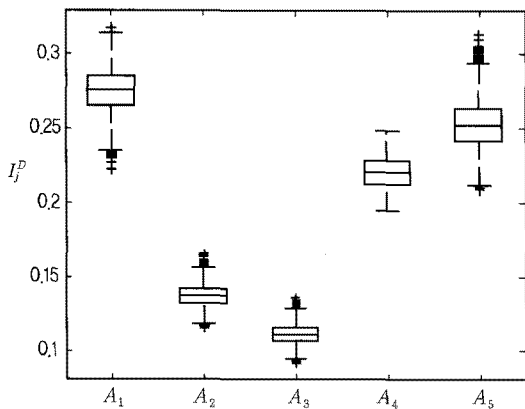
삼각분포는 하한값 l , 상한값 u , 최대확률 가능값 m 등 세 가지 모수에 의하여 정의된다. 최대확률 가능값은 구간 내 어느 값보다도 관측 가능성이 상대적으로 높은 값을 의미하며 확률밀도함수는 다음과 같다.

<표 6> Fuzzy ANP에 의한 공급업체의 최종 선호도의 계산

	평가요소					최종 선호도 (F_i)	순위	
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5			
I_j^D	0.321	0.107	0.022	0.242	0.308			
I_j^I	0.254	0.181	0.210	0.148	0.207			
w_j	0.398	0.094	0.023	0.175	0.311			
R_{ij}	C1	100	75	50	25	0	52.329	4
	C2	75	25	50	100	50	66.310	2
	C3	25	50	75	50	100	56.168	3
	C4	100	25	25	75	75	79.091	1

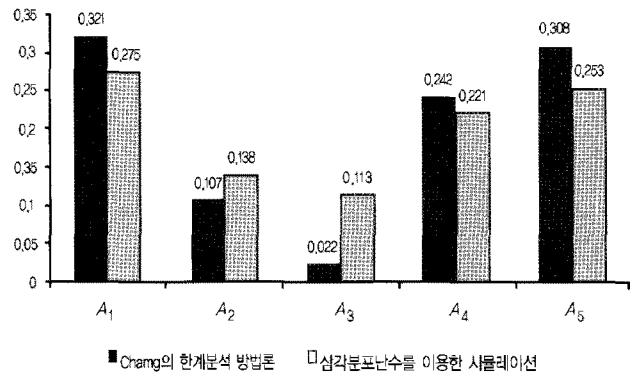
$$f(x|l, m, u) = \begin{cases} \frac{2(x-l)}{(u-l)(m-l)}, & l \leq x \leq m \\ \frac{2(u-x)}{(u-l)(u-m)}, & m \leq x \leq u \\ 0 & \text{그외 범위} \end{cases}$$

삼각분포에 기초한 Monte Carlo 시뮬레이션의 결과를 Chang's EAM 결과와 비교하기 위하여, 평가요인들의 직접적인 영향력의 최종 가중치(I_j^D)를 구하기 위한 <표 1>의 각 퍼지 쌍대비교 결과에 대해 삼각분포난수(triangular distribution random number)를 발생 시켰다. 예를 들어, <그림 3>의 삼각퍼지함수들 중 “훨씬 더 중요하다(SI)”의 경우에는 확률밀도함수 $f(x| \frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ 를 따르는 난수를 발생시켰다. <표 1>의 퍼지 쌍대비교행렬의 각 퍼지함수를 삼각분포난수를 이용하여 10,000번 시뮬레이션 했을 때 평가요인들의 직접적인 영향력의 최종 가중치(I_j^D)의 분포는 <그림 4>의 상자그림(box plot)과 같고 삼각분포난수를 이용한 시뮬레이션을 통해 구해진 각 평가요인들의 평균가중치들과 Chang's EAM을 통해 구해진 가중치들을 비교해 보면 <그림 5>와 같다.



<그림 4> 삼각분포난수(Triangular Distribution Random Number)를 이용한 평가요인들의 직접적인 영향력의 최종 가중치(I_j^D)의 상자그림(시뮬레이션 횟수 = 10,000회)

<그림 5>의 결과를 살펴보면, 먼저 다섯 개 평가요인들의 중요도 가중치 크기 순위는 두 방법의 경우에 동일하다($A_1 > A_5 > A_4 > A_2 > A_3$). 그러나 각 평가요인들의 중요도 가중치의 크기는 조금씩 차이가 나고 있는데 특히 Chang's EAM으로 구한 가중치의 크기는 삼각분포난수를 이용한 시뮬레이션의 경우보다 상대적으로 큰 가중치는 더욱 크게, 그리고 상대적으로 작은 가중치는 더욱 작게 하는 경향을 보이고 있다. 이는 Chang's EAM이 가지는 특징에 기인한 것으로서, 특정 평가요인의 중요도에



<그림 5> 평가요인들의 직접적인 영향력의 최종가중치(I_j^D) 비교

대한 가중치가 $\min V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$ 의 개념(즉, 특정 삼각퍼지함수가 다른 모든 삼각퍼지함수보다 클 가능성)에 의해 정의되므로 상대적으로 큰 값은 더욱 크게, 그리고 상대적으로 작은 값은 더욱 작게 하는 경향을 보이게 된다. 이는 중요한 평가요인과 그렇지 않은 평가요인간의 구분을 보다 확실히 해준다는 측면에서 Chang's EAM의 장점이 될 수도 있다.

여기서 언급해야할 중요한 한 가지는 Crisp number를 이용하는 고전적인 쌍대비교 방식과 퍼지 쌍대비교 방식은 동일한 조건에서 비교되어야 하는 경쟁관계가 아니라 상호보완적인 역할을 하는 관계로 이해해야 한다는 것이다. 주어진 정보나 평가가 Crisp number로 구성될 수 있는 환경에서는 고전적인 쌍대 비교 방식이 선호될 것이고 불확실한 정보나 주관적인 평가로 구성된 환경에서는 퍼지 쌍대비교 방식이 선호될 것이다. 본 논문에서 제시된 예제와 같이 언어적 표현으로 구성된 설문문의 경우에는 개인 간의 차이로 인한 Crisp number의 변동성이 최종 가중치의 변동으로 나타나게 되는 상황을 극복하고자 퍼지 쌍대비교 방식이 제시되었고 그 결과를 본 논문에서는 ANP에 사용하고 있는 것이다.

5. 결론 및 향후 연구방향

다수 공급업체의 우선순위를 결정하는 문제는 구매기업의 공급 유연성, 운영비용, 품질, 납기 등에 직접적인 영향을 미치며, 기업들은 이를 통해 기업의 생산성과 시장에서의 경쟁력을 확보할 수 있는 중요한 의사결정과정이다. 따라서 우수한 공급업체의 확보 및 효율적인 공급관계 관리가 중요한 전략적 요인으로 부각됨에 따라 기업의 공급사슬관리 활동 중에서도 우수한 공급업체의 선정 및 관리는 기업의 주요 관심사가 되고 있다.

이에 본 연구에서는 우수한 공급업체의 우선순위 파악을 위하여 고려되어야 하는 평가요인들을 기존 연구문헌을 통해 파악하여 구매비용, 품질, 납품능력, 혁신능력, 그리고 유연성의 다섯 가지 평가요인들을 선정하고 이들의 상대적 중요도를 도출하여 공급업체의 경쟁 능력을 평가할 수 있는 평가모형을 제시하였다. 특히, 평가의 과정에서 주관적 평가가 다소 애매모호한 판단들로 구성되어 있음을 고려하고 다수의 평가요인들 간에 존재하는 상호 관련성을 고려하기 위하여 다기준 의사결정 기법들 중의 하나인 Fuzzy ANP 기법을 활용한 평가모형을 제시하였다. 이를 통해 구매자의 주관적 평가의 애매 모호성을 인정하면서 정량적 평가요인들의 합리적 가중치를 산정하고 이를 이용하여 공급업체들의 우선순위를 결정하였다. 본 모형은 인간 사고방식의 모호성을 구체화 시키고 다수 평가요인들 간에 존재하는 상호 영향력의 관계를 투영한 다기준 의사결정 문제에 효과적으로 접근하였다는 데에 그 의의가 있다. 또한 Fuzzy ANP와 전형적인 ANP의 근본적인 차이점이라고 할 수 있는 퍼지 쌍대 비교와 일반 쌍대 비교의 차이를 삼각분포(triangular distribution)를 이용한 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 살펴보고, Chang's EMA가 중요한 평가요인과 그렇지 않은 평가요인간의 구분을 보다 확실히 해준다는 사실을 소개하였다.

본 연구는 향후의 추가적인 연구를 통한 모형의 발전 및 검증에 대한 가능성 또한 내포하고 있다. 예를 들면, 본 방법론에서 사용된 Fuzzy ANP 모형은 모든 가능한 요소들과 평가요인들을 다 고려하고 있지 못하다. 즉, 의사결정의 환경이 변화함에 따라 추가적인 요소들의 고려가 가능할 것이다. 예를 들면 본 연구에서는 단지 단일 수준의 평가요인들 간의 상호의존관계만을 고려했으나 공급업체의 선정 문제는 다수 계층 수준의 평가요인들이 존재할 수 있고 수준이 다른 평가요인들 간의 상호관련성 또한 추가할 수 있을 것이다. 그로 인해 보다 복잡한 구조를 지닌 수정된 모형은 보다 정교한 내부 평가 요소간의 관계를 투영할 수 있을 것이다. 이러한 측면으로의 추가적인 연구들은 Fuzzy ANP를 보다 매력적인 다 기준 의사결정 기법들 중의 하나로 발전시킬 것이다.

참고문헌

- [1] 김성홍, 김진한, “공급자 선정기준의 상대적 중요성에 대한 실증연구-국내 전자업체에 대한 AHP 적용”, 한국생산관리학회지, 14(1) : 3-25, 2003.
- [2] 정욱, 장병윤, “네트워크 분석과정을 이용한 공급업체 평가에 대한 연구”, 품질경영학회지, 37(4) : 1-8, 2009.
- [3] Bayazit, O. and Karpak, B.; “An analytical network process-based framework for successful total quality management (TQM) : An assessment of Turkish manufacturing industry readiness,” *International Journal of Production Economics*, 105(1) : 79-96, 2007.
- [4] Chan, F. T. and Kumar, N.; “Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach,” *Omega*, 35(4) : 417-431, 2007.
- [5] Chang, D. Y.; “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP,” *European Journal of Operational Research*, 95 : 649-655, 1996.
- [6] Cheng, C. H., Yang, K. L., and Hwang, C. L.; “Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight,” *European Journal of Operational Research*, 116 : 423-435, 1999.
- [7] Cheng, E. W. L. and Li, H.; “Analytic network process applied to project selection,” *Journal of construction engineering and management*, 131(4) : 459-466, 2005.
- [8] Demirtas, E. A. and Ustun, O.; “Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions,” *Computers and Industrial Engineering*, 56(2) : 677-690, 2003.
- [9] Dickson, G. W.; “An analysis of vendor selection system and decisions,” *Journal of Purchasing*, 2(1) : 5-17
- [10] Goffin, K., Szwejzewski, M., and New, C.; “Managing suppliers : when fewer can mean more,” *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 27(7) : 422-436, 1997.
- [11] Handfield, R. B.; “US global sourcing : Patterns of development,” *International Journal of Operations and Production Management*, 14(6) : 40~51, 1994.
- [12] Ittner, C. D., Larcker, D. F., Nagar, V., and Rajan, M. V.; “Supplier selection, monitoring, practices, and firm performance,” *Journal of Accounting and Public Policy*, 18 : 253-281, 1999.
- [13] Jharkharia, S. and Shankar, R.; Selection of logistics service provider : An analytic network process(ANP) approach, *Omega*, 35(3) : 274-289, 2007.
- [14] Kahraman, C., Ertay, T., and Buyukozkan, G.; “A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach,” *European Journal of Operational Research*, 171 : 390-411, 2006.
- [15] Khan, Shahadat; “Supplier choice criteria of executing agencies in developing countries,” *The International Journal of Public Sector Management*, 16 : 261-285.
- [16] Kruse, D. R., Pagell, M., and Curkovic, S.; “Toward a measure of competitive priorities for purchasing,” *Journal of*

- Operations Management*, 19 : 497-512, 2001.
- [17] Leung, L. C. and Cao, D.; "On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP," *European Journal of Operational Research*, 124 : 102-113, 2000.
- [18] Lin, Y. H., Chiu, C. C., and Tsai, C. H.; "The study of applying ANP model to assess dispatching rules for wafer fabrication," *Expert Systems with Applications*, 34(3) : 2148-2163, 2007.
- [19] Meade, L. and Sarkis, J.; "Analyzing organizational project alternatives for agile manufacturing processes : An analytic network approach," *International Journal of Production Research*, 37(2) : 241-261, 1999.
- [20] Mikhailov, L.; "A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process," *Journal of Operational Research Society*, 51 : 41-349, 2000.
- [21] Mikhailov, L.; "Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgments," *Fuzzy Sets and Systems*, 134 : 365-385, 2003.
- [22] Mummalaneni, V., Dubas, M., and Char, C.; "Chinese purchasing manager's preferences and trade-offs in supplier selection and performance evaluation," *Industrial Marketing Management*, 25(2) : 115-124, 1996.
- [23] Nydick, R. L. and Hill, R. P.; "Using the analytic hierarchy process to structure the supplier selection procedure," *International Journal of Purchasing and Material Management*, 28(2) : 31-36, 1992.
- [24] Pang, B.; "A Fuzzy ANP Approach to Supplier Selection Based on Fuzzy Preference Programming," *Management and Service Science(MASS)*, 2010 International Conference on, 1-4, 2009.
- [25] Saaty, T.; *Decision making with dependence and feedback : The analytic network process*. Pittsburgh : RWS Publications, 1996.
- [26] Spekman, Rovert E.; "Perceptions of strategic vulnerability among industrial buters and its effect on information search and supplier evaluation," *Journal of Business Research*, 17 : 313-326, 1988.
- [27] Tracey, M. and Tan, C. L.; "Empirical analysis of supplier selection and involvement, customer satisfaction and firm performance," *Supply Chain Management : An International Journal*, 6(4) : 174-188, 2001.
- [28] Tam, M. C. Y. and Tummala, V. M. R.; "An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system," *The International Journal of Management Science(OMEGA)*, 29 : 171-182, 2001.
- [29] Wei, W. L. and Chang, W. C.; "Analytic network processbased model for selecting an optimal product design solution with zero-one goal programming," *Journal of Engineering Design*, 19(1) : 15-44, 2007.
- [30] Yuksel, I. and Dagdeviren, M.; "Using the analytic network process(ANP) in a SWOT analysis-A case study for a textile firm," *Information Sciences*, 177(16) : 3364-3382, 2007.
- [31] Zadeh, L. A.; *Fuzzy sets*. Information and Control, 8 : 338-353, 1965.