

다 속성 효용이론을 이용한 R&D 프로젝트의 평가 모델의 연구

A R&D Project Evaluation Model Based on Multi-attribute Utility

황 흥 석 *

동의대학교 산업공학과

부산시 부산진구 가야동 산24,
Tel : 890-1657, Fax : 890-1619,

E-Mail : hshwang@hyomin.dongueui.ac.kr

Abstract

본 연구는 연구·개발 프로젝트의 평가를 위하여 연구·개발 프로젝트의 다-속성(Multi-attributes)을 고려한 평가 모델의 연구이다. 이를 위하여 우선 평가구조를 구축하고 각 속성별 평가를 종합하기 위한 종합성과도(Total Preference Index)로 단일 측정치로 평가 할 수 있도록 종합하기 위한 적절한 효용함수를 도입하여 사용하였다. 이러한 평가 과정을 다-속성 의사결정 모델(Multi-attribute Utility Model)로 통합하였으며 연구·개발프로젝트의 특성을 고려하여 각 연구실의 책임자(Laboratory Directors)의 평가체계를 개발하여 본 평가모델에 포함하였다. 본 평가모델의 시험 적용을 위하여 특정 연구소에 시험적용하고 그 결과를 보였으며, 부분적으로 보완 연구될 경우 일반적인 프로젝트의 평가 모델로 활용될 수 있으리라 생각된다.

Key word : R&D Project Evaluation, Project Management

1. 개요

과거의 많은 Project 평가 Model들이 개발되었음에도 간편한 평점 Model등 사용하기 쉬운 몇몇 Model을 제외하고 실제 거의 활용되지 못하고있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 본 연구에서는 연구·개발Project 평가 Model을 연구프로그램, 연구조직의 특성 등과 관련하여 구조적으로 개선 될 수 있는 평가 Model의 개발에 관한 연구이다. 문헌조사에 의하면, 연구개발 Project평가는 이를 위한 합리적이고 체계적인 지원시스템(Support System)에 의해서 다목적과 Project 목표성과의 다 속성(Multi-attributes)들을 고려한 평가지원System이 필요시 되고 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 다 속성 의사결정방법의 하나인 다 속성효용이론, MAUT(Multi-attribute Utility Theory)이론을 Project평가에 도입하려고 한다. 이의 기본 개념은 Project의 각 목적을 위한 행위(Action)에 따른 결과(Consequences)들을 각각 개별적으로 평가하는 평가구조를 우선 구성하고(목적, 특성 등 구성) 이 평가 결과들로부터 하나의 전체적인 성과도(Preference)를 측정할 수 있는 종합함수로(다 속성 효용함수:Multi-attribute Utility Function) 변환시키는 2 단계의 방법이다. 즉 연구·개발 Project의 성

과를 나타내는 여러 속성들을 각각 따로 평가하고 이를 하나의 성과도(Preference)로 측정하는 함수(Multi-attribute Utility)로 변환하는 방법을 사용하였다. 이를 위하여 Fuzzy 의사결정 Model을 활용하였으며, 이는 다목적 의사결정 문제로서 일상 언어로서 기술되는 의사결정법칙(Decision Rules)에 근거를 두고 Modeling 한다. 이는 통상추론과는 달리 명제 중에 변수가 모두 Fuzzy 변수, 즉 애매한 언어정보로 구성되며 추론규칙에 의해서 주어진 정보로부터 새로운 결론을 도출하는 개념이다. 이러한 다 속성 효용이론(MAUT) 및 Fuzzy 근사 추론 Model을 다음과 같은 단계에 따라 Project평가지원 System에 응용하였다. 첫째, 평가 대상목표 및 이의 속성을 정의하고 구성한다. 본 단계에서는 주로 의사결정 자의 염두판단과 경험요소 등에 의존할 수밖에 없는 것이다. 둘째, 평가과정으로서 실제로 평가방법, 및 그 절차 등을 포함하는 여러 경우를 고려하여 최적 평가 방법을 선택한다. 셋째, Project 평가지원 System을 설정한다.

2. 다 속성효용이론(MAUT)

2.1 기본 개념

연구개발 Project평가에 다 속성의사결정이론을 도입하게된 이유는 여러 가지가 있겠으나 무엇보다 중요한 것은 다음과 같이 연구·개발프로젝트의 평가 System이 갖추어야할 특성들을 평가 System에 포함시키려는 노력에서 비롯되었다. 연구·개발프로젝트는 특히 기초연구의 경우 고도의 창의적인 활동이므로 이를 평가하는 것도 자연히 복잡하게되고 주관적인 판단과 경험적인 요소들이 많이 작용된 [3][4][5][8]다. 그러므로 주관적인 판단요인을 수용하지 못하는 평가System은 부적절한 System으로 생각된다. 즉 다음에 열거한 사항들이 평가 System에 가능하면 포함되도록 발전될 수 있어야 한다.

- Project 수행활동의 목적을 잘 나타낼 수 있도록 명확하게 평가 목표를 설정.
- Project 평가의 주요 문제점인 Project 특성상 다 목적문제의 해결을 할 수 있는 평가 System
- Project 평가System은 평가과정을 어느 정도 설명할 수 있어야 한다.
- 평가System은 그 자체가 숙달 및 적용 과정이므로 과거의 경험이나 방법들도 수용될 수 있어야 한다.
- 평가System은 간편하고 사용하기 쉽고 또한

쉽게 이해될 수 있어야 한다.

- 평가System은 의사결정자의 가장 취약한 부분을 보완할 수 있어야 한다.
- 평가System은 조직운영과 호환성이 있어야 하며 기술계획과정의 한 통합된 부분으로 고려되어야 한다.
- 표준 평가 System은 없겠으나 각 평가System은 조직운영내의 한 기능으로 정착되어야 한다.

다 속성효용이론(MAUT)의 연구·개발Project 평가에의 활용을 위하여 먼저 Project 수행에 대한 결과들이 각기 목적에 따라 평가될 수 있도록 평가구조를 설정한다. 그리고 이러한 각각의 평가결과를 총 성과도(Total Preference)로 평가될 수 있도록 종합하기 위한 적절한 함수를 도입하였으며, 평가과정에서 평가목표(Objectives)는 바로 의사결정자가 Project를 더욱 효과적으로 지원하도록 하였다. 이러한 평가목적의 선정은 주로 사업관리조직 및 의사결정자들의 제안에 의존하고 있는 실정이다. 가상적인 목표구조를 표시하면 그림 1과 같다.

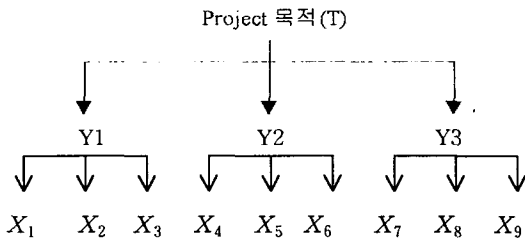


그림 1. 프로젝트 평가목표 구성 예:

여기서 각 목표(Objectives)들은 Project의 속성(Attribute)으로 측정된다. 이 속성(Attribute)들은 그 의미가 명확해야 하고 측정할 수 있어야 한다[8]. 여기서 선정된 속성이 구조를 갖추어야 할 특성은 다음과 같다.

- Project 평가를 위한 문제의 모든 주요한 관점을 다 포함할 수 있어야 하고 완전해야 한다.
- 모든 분석과정에서 계산 가능해야 한다.
- 여러 속성을 분할 및 이론결합 가능해야 한다.
- 중복성이 없어야 한다.

2.2 다 속성효용Model

연구·개발Project 평가 시에 위에서 설명한 한가지 이상의 다 목표(Objective)의 경우가 고려되어야 한다. 다 속성효용이론(MAUT)을 이용, 각 목표(Objective)는 여러 가지의 속성(Attribute)으로 측정된다. 이러한 속성들의 집합을 $X_1 \times X_2, \dots \times X_n$ 으로 정의하고, 가능한 행위의 Set을 A라고 하면 이 행위의 결과집합, X는 n차가 되며, (x_1, x_2, \dots, x_n) , 여기서 x_j 는 X_T 의 특정 값이다.

$$x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})$$

여기서 행위의 집합, A로부터 그 결과 집합인 X로 변환하는 관계인 R을 고려하면 다음 식이 성립된다.

$$R \subset A \times X; [a_j(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})] \in R, \forall j$$

본 Model에서 의사결정자의 선호도는 총 선호함수(Total Preference Function)는 다음과 같이 표시된다.

$$U(X) = G(x_1, x_2, \dots, x_n) \dots \text{단일 속성 함수식}$$

$$U(X) = F[\mu_1(x_1), \mu_2(x_2), \dots, \mu_n(x_n)]$$

여기서,

F : 각 단일속성 효용함수 μ_i 를 X_j 내에서 결합하고 값을 나타내는 함수이다.

위의 관계를 MAUT Model의 3단계 의사결정과정에서의 각 변환과정을 표시하면 다음그림과 같다.

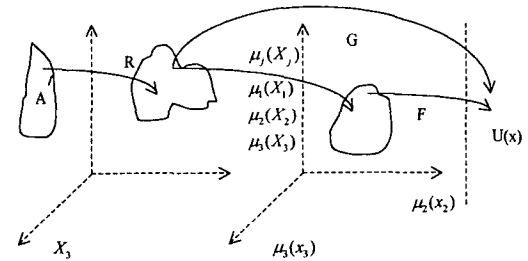


그림 2. MAUT Model에서의 3단계 의사결정 과정

2.3 독립성(Independence)

다 속성 효용 Model에서 각 속성들의 독립성의 특각 선호 우선 순위를 결정하는 종합함수를 매우 간단한 형태로 만든다.

- 부가적 독립(Additive Independence: AI)[4]

속성 X_1, X_2, \dots, X_n 에 대한 모든 행위에 대한 결과의 선호도(Preference)가 이들의 결합확률분포(Joint Probability Distribution)에 의존하는 것이 아니고 이들의 한계 확률분포(Marginal Probability Distribution)에 의존하는 경우 부가적 독립(Additive Independent)이다.

- 효용독립(Utility Independence : UI)[8]

속성 y는 다음 경우에 효용독립이다

$$(\overline{y^+}, \overline{y^+}) \geq (\overline{y^+}, \overline{y^+}) \Rightarrow (\overline{y^+}, \overline{y}) \geq (\overline{y^+}, \overline{y}), \forall y$$

여기서 $\overline{y^+}$, \overline{y} , $\overline{y^+}$ 는 임의의 행위(Action)에 대한 결과이고, y는 임의의 속성 y의 여집합이다.

- 우선독립(Preferencian Independence : PI) :

임의의 속성y에 대하여 다음경우에 한해서 PI하다.

$$(\overline{y^+}, \overline{y^+}) \geq (\overline{y^+}, \overline{y^+}) \Rightarrow (\overline{y^+}, \overline{y}) \geq (\overline{y^+}, \overline{y}), \forall y$$

만약에 Y가 UI이면 y는 PI이나 이의 역은 성립하지 않는다[8]. UI는 불확실 하의 의사결정에 널리 응용되며 이러한 특성으로 MAUT를 연구개발 Project 평가에 특히 이의 자원배분에 응용될 경우 항상 PI의 가정(확실 성하의 의사결정)하에서 사용된다.

2.4 효용함수의 종합방법

MAUT의 주요결과 중의 하나는 의사결정자의 다 효용함수(Multi-Utility Function)가 여러 개의 단일효용함수로 분할할 수 있는 특성이다. 모든 단일효용함수들은 선형변환에 의해서 0~1까지의 Scaling이 가능하다[8].

즉 $X^\infty = (X_1^\infty, X_2^\infty, \dots, X_n^\infty) = (Y^\infty, Y^\infty)$ 은 가장 요망되는 결과를 표시하고 반면,

$X^0 = (X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0) = (Y^0, Y^0)$ 은 가장 바람직하지 않는 결과이고 이 경우 효용함수는

$$U(X^0) = 0 \text{에서 } U(X^\infty) = 1 \text{로 Scale된다.}$$

다 속성 효용함수(Multiattribute Utility Function)는 다음과 같이 여러 개의 단일 속성함수로 표시될 수 있다 :

$\mu(X_1, X_2, \dots, X_n) = \mathcal{F}[U_1(x_1), U_2(x_2), \dots, U_n(x_n)]$
 이러한 속성은 연구개발 Project평가문제에 응용 시 무한 집합(또는 큰 규모)의 대안을 고려할 경우 유용한 효용함수의 분할 특성을 다음과 같이 바로 결합(Additive), 곱(Multiplication)의 효용함수로 표시될 수 있다.

- 결합 효용함수(Additive Value Function) : 즉 확실성하의 의사결정 시의 효용함수로 속성 X_1, X_2, \dots, X_n 가 효용독립이면,

$$V(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum k_i V_i(x_i)$$

$V_i(x_i) : X_i$ 에 대한 단일속성 효용함수

불확실성하의 의사결정시의 효용함수는 다음과 같이 표시된다(Keeney, 1976).

$$U(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n k_i U_i(x_i)$$

단 X_1, X_2, \dots, X_n 가 AI이다.

- 곱의 효용함수(Multiplication Utility Function):

의 X_1, X_2, \dots, X_n 의 모든 Sub-Set이 UI일 경우 효용함수는 다음과 같이 곱의 형태로 표시될 수 있다(Keeney, 1974, Keeney 및 Raiffa, 1976).

$$K \cdot U(X) + 1 = \prod_{i=1}^n [K k_i \mu_i(x_i) + 1]$$

여기서

- U 는 $\mu(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0) = 0$ 과 $\mu(X_1^\infty, X_2^\infty, \dots, X_n^\infty) = 1$ 로 정상화된 값이다.
- $U(X)$ 는 $\mu_i(x_1^0) = 0, \mu_i(x_1^\infty) = 1$ 로 정상화된 값이다.
- $k_i = \mu(x_1^\infty, x_1^0)$
- K 는 상수로 다음 식에 의해서 구해진다.

$$1 + K = \prod_{i=1}^n (1 + K k_i)$$

여기서, $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ 인 경우는 $K = 0$ 가 되어 결합 효용함수 형태로 된다.

- 다선형 효용함수(Multilinear Utility Function): 이는 X_i 가 다른 속성과 UI일 경우 효용함수는($n = 3$)일 경우 다음과 같이 다 선형함수로 표시될 수 있다(Keeney 와 Raiffa, 1976).

$$U(X) = k_1 \mu_1(x_1) + k_2 \mu_2(x_2) + k_3 \mu_3(x_3) + k_{12} k_1 k_2 \mu_1(x_1) \mu_2(x_2) + k_{13} k_1 k_3 \mu_1(x_1) \mu_3(x_3) + k_{23} k_2 k_3 \mu_2(x_2) \mu_3(x_3) + k_{123} k_1 k_2 k_3 \mu_1(x_1) \mu_2(x_2) \mu_3(x_3)$$

이 이외에 다른 형식의 효용함수들도 많이 연구되었으나 위의 3가지 형식이 널리 사용되는 형식이다. 위의 각 속성 값의 형태와 독립성조건에 따른 효용함수를 종합 정리하면 표 1과 같다.

3. 의사결정 지원 System

실제 평가업무에 MAUT를 응용하는 데는 여러 가지 문제점과 불확실성이 따르게 된다. 즉 목적(Objectives) 및 속성(Attributes)을 설정하는 것부터가 문제가 된다. 우선 속성은 측정할 수 있어야 하고

표 1. 속성(Attribute)값의 형태 및 종합효용함수

속성값	독립 조건	종합 효용 함수
결정적 (Deterministic)	PI	$\sum K_i V_i(X_i)$
확률적 (Stochastic)	AI	$\sum k_i \mu_i(x_i)$
	UI	$\Pi [\sum k_i \mu_i(x_i) + 1]$
	UI	$k_1 \mu_1(x_1) + k_2 \mu_2(x_2) + k_{12} k_1 k_2 \mu_1(x_1) \mu_2(x_2)$ ($n = 2$)

설명될 수 있어야 한다. 그리고 각 행위에 의한 결과 자체가 정상적인 속성형태로 되어있지 않으며 이러한 결과 형태에 따라 이 속성은 구성되어야 한다. 이 MAUT 방법은 기대효용 값을 최대로 하도록 의사결정이 이루어짐을 가정하고 있다. 그러나 이러한 효용함수의 실제 활용을 위한 종합형태와 Model의 검증(Testing)등의 어려움이 많다. 이러한 많은 어려움에도 MAUT 방법이 실제에 많이 활용되고 있다[3]. 특히 연구개발 Project 평가에 활용시의 간편성을 고려하여 많은 응용연구가 요망된다. 일반적으로 연구·개발프로젝트의 평가시스템은 사전평가, 성과평가 및 평가방법 등 3 가지의 부 시스템으로 구성되며 이들의 연관 관계 도를 그림 2와 같이 표시하였다.

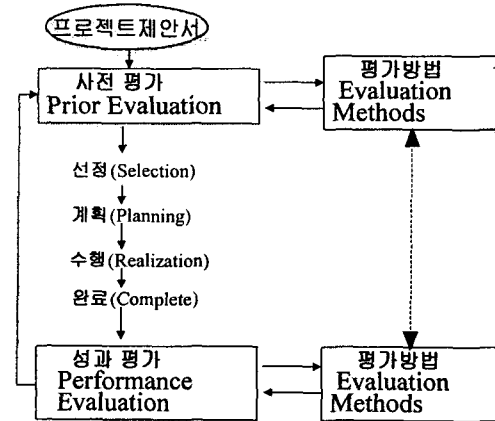


그림 2. 연구·개발프로젝트 평가시스템

이러한 연구·개발프로젝트평가 지원시스템의 구성은 일반적으로 다 속성의 구조를 가진다. 일반적인 연구·개발프로젝트 평가지원 시스템의 구조의 예를 다음과 같이 4 단계의 구조로 요약하였다.

- ① 프로젝트의 기술 및 평가목적과 특성 기술
 - ② 프로젝트의 특성과 문제를 평가과정의 분석
 - ③ 적정평가모델의 선정 및 조정
 - ④ 세부 평가지원시스템의 설계
- 위의 단계에 따른 구조를 표시하면 다음과 같다.

적절성(R)	수행 연구실예의 중요성 (R ₁)	경제적 효율성 (R ₂)	과학/기술적 유용성 (R ₃)
		수행의 수준(품질) (Q ₁)	수행보고서의 수준 (Q ₂)
연구수준(Q)	프로젝트 목적의 달성도 (Q ₃)		

기대이외의 결과 (Q₄)
 프로젝트의 계획 추진 (Q₅)
 프로젝트의 경제적성과 (E₁)
 경제적성과(E) 프로젝트의 총비용 (E₂)

이러한 프로젝트의 속성 평가를 위하여 각 속성 별로 다음과 같이 평가 값을 구한다.
 [R₁, R₂, R₃, R₄, Q₁, Q₂, Q₃, Q₄, Q₅, E₁, E₂,]

4. 모델의 응용

본 연구에서의 다 속성 효용이론을 이용한 연구·개발프로젝트의 평가 모델의 응용을 위하여 XX 연구소의 연구·개발프로젝트의 평가에 응용하였다. 약2,000명의 연구원으로 구성된 연구소는 다음과 같은 5 개의 부서로 연구실들이 구성되어 있다.

- 기초 기술 연구부
- 정보기술 연구부
- 공정개발부
- 생산기술 연구부
- 소재개발실

현재 이 연구소의 평가시스템은 평가위원을 두고 주관적인 평가가중치에 의한 방법에 의존하고 있다. 본 연구에서 제안한 평가모델의 적용을 위하여 우선 그룹 3과 같이 평가 특성 및 연구성과의 평가 목적을 구분하고 각 속성 별 1~5까지의 Scale을 두고 [R₁, R₂, R₃, R₄, Q₁, Q₂, Q₃, Q₄, Q₅, E₁, E₂,]로 구분하여 각각 평가한 자료를 0 ~1의 값으로 변환한 값이 표 2와 같다.

표 2. 연구실 1의 연구·개발프로젝트평가 결과 (N=10)

구분	R1	R2	R3	R31	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	E2	E2	T
P1	1.	0.75	0.75	1.	1.	1.	1.	0.	1.	1.	1.	1.
P2	0.75	0.5	0.5	0.75	0.75	1.	0.75	0.	0.25	0.75	1.	0.75
P3	0.5	0.5	0.	0.25	0.25	0.25	0.75	0.	0.75	0.25	1.	0.25
P4	1.	0.75	1.	0.5	0.75	0.25	0.75	0.	0.75	1.0	0.5	1.
P5	0.25	0.	0.	0.5	0.	0.	0.	0.	0.	0.75	0.25	0.
P6	0.25	0.25	0.	0.25	0.	0.25	0.75	0.	0.	0.75	1.	0.
P7	0.75	0.5	0.25	0.5	1.	0.5	1.0	0.	1.	1.	1.	0.5
P8	0.5	0.75	0.25	0.5	0.5	1.	0.75	0.	0.5	1.0	0.75	0.5
P9	0.75	0.75	0.5	0.75	0.25	0.5	0.5	0.	1.	0.75	1.	0.5
P10	0.5	0.75	0.5	1.	1.	0.75	0.75	0.	1.	1.	1.	0.75

표 3. 연구실 1의 프로젝트의 종합선호도 평가 결과 비교(N = 10)

구분	결합가치 함수모델	Bellman	Yanger Model	근사추론	단순평가방법
P1	0.8	0.75	0.75	1.0	1.0
P2	0.5	0.5	0.7	0.75	0.75
P3	0.35	0.0	0.25	0.3	0.25
P4	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0
P5	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0
P6	0.15	0.0	0.25	0.25	0.0
P7	0.5	0.05	0.5	0.63	0.5
P8	0.5	0.05	0.5	0.5	0.5
P9	0.65	0.5	0.7	0.75	0.5
P10	0.6	0.5	0.7	1.0	0.75

위의 평가 문제를 결합가치함수(Additive Value Function)방법, Fuzzy이론을 이용한 Bellman-Zadeh [11][12]방법, Yanger Model 및 근사추론(Approximate Reasoning) Model 등을 이용하여 구한 종합선호도(Total Preference)를 평가한 결과를 표 3에서와 같이 요약하였다. 위의 근사추론방법에 의하면 평가 결과에 의하면 평가 결과의 우선 순위는 p1, p4, p2 의 순이다.

5. 결론

본 연구에서는 연구·개발프로젝트의 다 속성들을 고려한 평가모델을 제안하였다. 연구·개발프로젝트의 수행 연구실 및 조직의 특성과 프로젝트 성과평가를 위한 다 속성들을 고려한 평가구조 및 평가를 위한 의사결정지원시스템을 개발하였다. 본 연구에는 다양한 효용함수를 사용하고 휘지근사추론 모델을 이용한 평가시스템을 구축하였다. 본 모델을 특정연구실의 연구실의 예를 들고 본 모델을 적용한 평가 결과를 보였다. 본 모델을 주관적인 평가 요소를 개선 할 경우, 유용한 프로젝트 평가모델로 널리 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Baker, S. M. and Freeland, I. R., " recent Advances in R&D Value Measurement and Project Selection Methods", Management Science Vol. 21, No. 4, pp.1164-1174, 1975.
- [2] Ching-Hsue Cheng, " Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP Based on the Grade Value of Membership Function", European Jnl. of Operation Research, Vol. 96, pp.343-350, 1996.
- [3] Falkner, C.H. and Benhajla, "Multiattribute Decision Models in the Justification of CIM Systems", Engineering Economist, Vol. 38, No. 2, pp.91-114, 1990.
- [4] Fishburn, P.C., Multiattribute Utilities in Expected Utility Theory. In : Bell, D.E. etal.(eds.)Conflicting Objectives in Decisions, New York, John Wiley and Sons, pp.172-194, 1977.
- [5] Freema, C., *The Economics of Industrial Innovation 2nd ed.*, London, Frances Printer, 250p, 1984.
- [6] Harker, P. T. and L. G. Vagas, "The Theory of the Ratio Scale Estimation : Saaty's AHP", Management Science, Vol.33, No.11, 1987.
- [7] Keefer, D., "Allocation Planning for R&D with Uncertainty and Multiple Objectives", IEEE Trans. on Engineering Management EM-25, 1, pp.8-14, 1978.
- [8] Keeney, R. L., *Decisions with Multiple Objectives*, New York John Wiley and Sons, 569p, 1976.
- [9] Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy process*, McGraw-Hill, 1980.
- [10] Souder, W. E., "A System for Using R&D Project Evaluation Methods", Research Management Vol.21, No. 5, pp.907-923, 1978.
- [11] Zahedi F., "The Analytic Hierarchy Process-A Survey of the Methods and its Applications", Interface, Vol.16, No.4, 1986.
- [12] Zimmerman, H. J., Zadeh, L. A. and Gaines, B.R., *Fuzzy Sets and Decision Analysis*, Netherlands, New York, 1983.