

다기준 의사결정기법의 비교

-PROMETHEE의 적용을 중심으로-

A Comparison of MAUT, AHP and PROMETHEE for Multicriteria Decisions

민재형·송영민
서강대학교 경영대학

jaemin@sogang.ac.kr, song1814@sogang.ac.kr

Abstract

This study discusses the strengths and weaknesses of MAUT, AHP, and PROMETHEE as multicriteria decision making aids with respect to their underlying assumptions and axioms, and suggest the usefulness and limitations of PROMETHEE as a outranking method. For the demonstration purpose, we provide a numerical example to evaluate 3 domestic life insurers using PROMETHEE.

Keywords : AHP, MAUT, PROMETHEE, Outranking

I. 서론

다기준 의사결정문제에서 평가기준들이 서로 상충관계에 있는 경우, 모든 평가기준들을 만족하는 최적의 대안을 찾는 것은 현실적으로 어려우며, 평가자의 선호도를 객관적으로 측정하는 것도 쉽지 않은 문제이다[27].

다속성효용이론(MAUT), 계층화분석과정(AHP), PROMETHEE는 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 대표적인 기법으로, 이러한 기법의 특징과 장단점을 비교하기 위한 시도가 시뮬레이션 연구와 현장 연구를 중심으로 수행되어 왔다[3,10,19,24,28]. 그러나 이러한 기법들은 각기 장점 및 단점을 갖고 있어 모든 상황에서 가장 우월한 방법론이 존재한다고 말할 수 없다는 것이 기존 연구의 공통된 결론이다. 이는 각 기법의 기본 가정 및 공리체계가 상이하기 때문이다.

본 연구에서는 다기준 의사결정기법인 MAUT, AHP, 그리고 PROMETHEE의 기본 가정 및 공리체계의 장단점을 비교하고, 최근 다양한 분야에 적용되고 있는 PROMETHEE[9,11,12,15,16,20]의 유용성과 한계점을 제시하였다. 또한 PROMETHEE의 적용 과정을 예시하기 위하여 국내 생명보험회사의 재무건전성을 평가하였다.

II. 다기준 의사결정기법의 특징

2.1 MAUT

MAUT는 Von Neumann과 Morgenstern[26]의 효용이론을 기초로 Keeney와 Raiffa[18]에 의하여 구체적인 기법과 적용 절차 등이 개발되었다. MAUT는 위험에 대한 개인의 태도를 반영한 효용함수와 평가기준(속성)들을 모형에 구체화하고, 이와 관련한 적절한 함수 형태의 식별 문제가 개인의 선호와 효용함수 형태를 결정하게 된다[17].

MAUT는 수학적으로 정교한 이론이 정립되어 있다는 장점이 있지만, 이를 현실에 적용하는데 있어 인간의 의

사결정행위와 일치하지 않는 문제점을 가지고 있다. MAUT의 공리적 문제점으로 지적되는 사항은 다음과 같다[23]. 첫째, 대안의 비교가능성(comparability)과 선호의 추이성(transitivity)을 가정한다는 것이고, 둘째, 선호의 모호성을 고려하지 않고 이원적 선호관계(binary preference relation)를 가정한다는 것이며, 셋째, 선호 독립성 및 효용 독립성을 가정하고 있다는 것이다.

2.2 Analytic Hierarchy Process

Saaty[25]에 의하여 제안된 AHP는 의사결정문제를 계층구조화하고, 이원비교를 기초로 평가기준들의 가중치(상대적 중요도)와 각 평가기준하에서의 대안들의 상대적 선호도를 도출한 후, 이를 계층구조에 따라 종합화하여 비교대안들의 평가순위와 종합적 선호도를 구하는 방법이다. AHP에서 평가기준들의 가중치와 평가기준별 대안들의 상대적 선호도는 아이겐밸류 방법(eigenvalue method)에 의하여 계산되며, 이원비교행렬에 대한 일관성비율(consistency ratio, CR)을 구하여 판단의 일관성을 검토한다.

AHP가 복잡한 문제를 계층구조화하여 관리가능한 문제로 분해하고, 정량적이고 정성적인 평가기준 모두를 고려할 수 있다는 장점은 있으나, 다음과 같은 단점도 갖고 있다[1,4,5,13]. 첫째, 평가기준간의 가중치 산출과 평가기준별 대안들의 상대적 선호도 측정을 위해 수행되는 이원비교는 평가기준 및 비교대안의 수가 추가되거나 삭제될 때마다 다시 수행되어야 하는 번거로움이 있다. 둘째, 비교대상(n)의 수가 증가함에 따라 의사결정자가 판단해야 할 평가횟수($n(n-1)/2$)는 급증하게 된다. 셋째, 이원비교행렬에 대한 일관성 비율의 해석과 타당성 여부가 명확히 검증되지 못하였다. 넷째, 9점 비율척도를 사용함으로써 선호의 기수적 일관성(cardinal consistency) 문제가 발생할 수 있다. 다섯째, 대안이 추가되거나 삭제될 경우 기존 대안의 순위역전현상이 발생할 수 있다.

2.3 PROMETHEE

Brans와 Vincke[8]는 선호의 유출량(leaving flow, ϕ^+)과 유입량(entering flow, ϕ^-) 개념을 이용하여 대안들의 순위선호¹⁾를 도출하는 PROMETHEE(Preference Ranking

1) 순위선호(outranking)는 이원비교를 기초로 대안 a가 대안 b보다 미흡하지 않은 대안이라고 판단되면 두 대안 a와 b의 수학적 지배관계가 존재하지 않더라도 대안 a를 선택하려는 의사결정자의 주관적 선호성향을 의미한다[21,22]. 수학적 지배관계에 입각하여 비교대안의 순위를 결정하는 문제에서 모든 평가기준에서 가장 우수한 점수를 받은 대안은 최적대안(optimal solution)이 된다. 그러나 실제 의사결정문제에서 평가기준들이 상충관계에 있게 되면 수학적 지배관계를 만족하는 최적대안을 찾는 것은 힘든 일이며, 따라서 수학적 지배관계를 완화하여 대안들에 평가순위를

Organization METHod for Enrichment Evaluations)를 제안한 바 있는데, PROMETHEE에서 선호의 유출량과 유입량을 계산하기 위해 사용되는 선호지수(preference index) $\pi(a, b)$ 는 <식 1>과 같다.

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k p_j(a, b) w_j \quad \text{<식 1>}$$

<식 1>에서 $p_j(a, b)$ 는 평가기준 j 의 선호함수를 나타내며, w_j 는 평가기준 j 의 가중치를 의미한다. 선호함수 $p_j(a, b)$ 는 두 대안 a 와 b 의 평가점수 차이에 대한 평가자의 선호성향²⁾을 반영하는 함수이다. 따라서 PROMETHEE의 선호함수는 평가자의 위험 성향을 반영하는 MAUT의 효용함수와 유사하다고 생각할 수 있으나, PROMETHEE의 선호함수가 이원비교에 기초하고 있다는 점에서 MAUT의 효용함수와 구별된다.

또한 선호함수 $p_j(a, b)$ 는 평가자가 평가기준별 선호함수와 선호임계치를 결정하게 되면 내부 알고리즘에 의하여 대안들간의 이원비교가 자동적으로 수행되므로 평가자가 직접 이원비교를 수행해야 하는 번거로움이 없어진다. 따라서 비교대안의 수가 매우 많고³⁾, 새로운 대안이 추가되거나 삭제되는 경우 PROMETHEE는 AHP보다 효율적으로 이원비교를 수행할 수 있는 장점이 있다.

그러나 평가자는 선호지수 $\pi(a, b)$ 를 계산하기 위하여 평가기준별 가중치를 사전에 알고 있어야 하므로 PROMETHEE에서도 MAUT처럼 가중치를 합리적으로 결정해야 하는 문제가 발생한다[14]. 반면에 AHP에서는 평가기준별 가중치가 이원비교행렬에 기초하여 아이겐벨류 방법을 의하여 도출되므로, 평가자가 가중치를 직접 유도해야 하는 부담이 완화된다.

PROMETHEE에서 대안들간의 순위선호관계는 <식 2>와 같은 선호유출량(leaving flow, ϕ^+)과 선호유입량(entering flow, ϕ^-) 개념을 이용하여 도출된다[6,7,8].

$$\begin{aligned} \phi^+(a) &= \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b), \\ \phi^-(a) &= \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a), \quad \text{<식 2>} \\ \phi(a) &= \phi^+(a) - \phi^-(a), \end{aligned}$$

where A is a set of all alternatives n .

<식 2>에서 $\phi^+(a)$ 는 대안 a 와 나머지 모든 대안의 선호지수의 합으로서 대안 a 가 나머지 모든 대안을 지배하는(dominating) 정도를 나타낸다. 따라서 $\phi^+(a)$ 가 클수록 대안 a 가 나머지 비교대안들 보다 우월하다는 것을 의미한다. 또한 $\phi^-(a)$ 는 나머지 모든 대안과 대안 a 의 선호지수의 합으로서 대안 a 가 나머지 모든 대안에 의하여 지배되는(dominated) 정도를 나타낸다. 따라서

부여하는 다기준의사결정기법을 순위선호모형이라고 한다.

2) Brans와 Vincke[8]는 평가기준별 선호함수를 이분형(binary type), V형(V type), U형(U type), 선형(linear type), 계단형(step type), 정규분포형(gaussian type) 등 여섯 가지로 정의하고 있다. 따라서 평가자는 선호함수의 형태를 결정하기 위해 선호임계치를 부여해야 하고, 이에 대한 충분한 지식 및 근거를 갖고 있어야 한다.

3) 평가대안의 수가 매우 많을 경우 AHP는 과도한 이원비교를 수행해야 하는 단점이 있다. Saaty[25]는 이러한 상대적 측정방법(relative measurement method)의 문제를 해결할 수 있는 대안으로 절대적 측정방법(absolute measurement method)을 제안한 바 있다.

$\phi^-(a)$ 이 클수록 대안 a 가 나머지 비교대안들보다 열등함을 의미한다. 따라서 <식 2>의 유입량과 유출량을 이용한 선호관계는 <식 3>과 같이 표현할 수 있다[8].

$$\begin{aligned} a P^+ b &\text{ iff } \phi^+(a) > \phi^+(b) \\ a P^- b &\text{ iff } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad \text{<식 3>} \\ a I^+ b &\text{ iff } \phi^+(a) = \phi^+(b) \\ a I^- b &\text{ iff } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{aligned}$$

그리고 <식 3>의 선호관계에 입각하여 두 대안 a 와 b 의 순위선호체계{ P , I , R }를 정리하면 <표 1>과 같다[8].

<표 1> PROMETHEE의 순위선호체계

구분	조건
$a P b$	$a P^+ b$ and $a P^- b$ $a P^+ b$ and $a I^- b$ $a I^+ b$ and $a P^- b$ 위의 세 가지 조건 중에서 최소한 1개 이상의 조건을 만족하면 대안 a 는 대안 b 는 순위선호관계에 있다.
$a I b$	$a I^+ b$ and $a I^- b$ 대안 a 와 대안 b 는 서로 무차별한 관계에 있다.
$a R b$	$a P b$ 와 $a I b$ 가 아닌 나머지 모든 경우, 대안 a 와 대안 b 는 비교불가능한 관계에 있다.

<표 1>에서 비교불가능한 관계는 무차별한 관계와는 다른 개념으로, 예를 들어, 대안 a 의 유출량과 유입량이 각각 0.7과 0.3이고, 대안 b 의 유출량과 유입량이 0.5와 0.1인 경우, 유출량 관점에서는 대안 a 가 우월하나 유입량 관점에서는 대안 b 가 우월하여, 대안 a 와 대안 b 는 우열을 가리기 힘든 상황(incomparable relation)에 있음을 말한다. 이는 선호의 추이성(transitivity)과 비교대안의 완전한 구분가능성(completeness)을 가정하고 있지 않기 때문이다.

이러한 비교불가능성이 실제 의사결정과정에서 존재하는 이유는 다음과 같이 세 가지로 정리할 수 있다[23]. 첫째, 의사결정문제에 대한 정보의 부족 및 불확실성으로 인하여 평가자의 판단력이 흐려지기 때문이다. 둘째, 적합한 선호함수가 존재하지 않는 경우가 발생할 수 있기 때문이다. 셋째, 의사결정자의 선호에 대한 인식결여 또는 선호표현의 부정확성 등으로 비교가 불가능할 수 있다.

한편, PROMETHEE에서의 비교불가능성은 AHP에서 선호판단의 비일관성(inconsistency)과 유사한 개념이라고 생각할 수 있으나 PROMETHEE의 비교불가능성은 비교대안의 선호판단과정(선호함수)에서 발생하는 것이 아니라 비교대안들의 평가순위를 결정하는 과정에서 발생된다는 점에서 AHP의 비일관성과는 다르다고 볼 수 있다.

2.4 평가기법별 기본가정 및 공리체계의 비교

지금까지 논의한 MAUT, AHP, 그리고 PROMETHEE의 기본가정 및 공리체계를 정리하면 <표 2>와 같다. <표 2>의 결과를 보면, PROMETHEE가 갖는 유용성 및 한계점은 다음과 같다.

첫째, PROMETHEE에서 평가자가 평가기준별 선호함수와 선호임계치를 결정하면, 내부 알고리즘에 의하여

이원비교가 자동적으로 이루어지므로, 비교대안이 추가되거나 삭제되더라도 AHP에서처럼 이원비교를 다시 수행해야 하는 문제를 극복할 수 있다.

둘째, PROMETHEE는 의사결정문제의 계층구조화에 대한 구체적인 방법을 제시하고 있지 못하다.

셋째, 순위선택개념을 이용하는 PROMETHEE는 평가 기준들간의 상충관계로 인하여 평가가 곤란한 대안을 비교불가능한 대안으로 분류해 주는 장점이 있다.

넷째, PROMETHEE는 평가기준별 가중치를 사전에 결정하여야 한다는 단점이 있다. 따라서 PROMETHEE에서 사용되는 가중치는 과거의 경험 및 평가자들의 의견수렴과정을 통하여 결정되어야 한다.

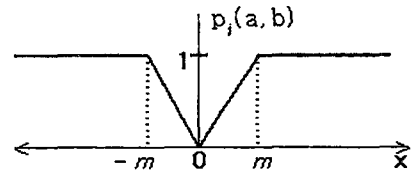
결론적으로, PROMETHEE는 가중치가 사전에 결정되어 있으며, 선호함수를 평가자가 명확히 부여할 수 있는 상황에서 MAUT와 AHP보다 유용한 다기준 의사결정기법이라고 볼 수 있다.

III. 수치예제

PROMETHEE 기법의 유용성을 확인하기 위하여 본 연구에서는 국내 3개 생명보험사(삼성, 신한, 대한)의 재무건전성을 평가하였다. 현재 금융감독원에서는 국내 생명보험회사의 경영실태를 파악하기 위하여, 지급여력비율 I (0.2), 지급여력비율 II (0.1), 부실자산비율(0.1), 위험가중자산비율(0.1), 경영관리부문(0.2), 평균예정이율 대 총자산수익율(0.05), 위험보험료 대 사망보험금비율(0.05), 예정사업비 대 총실제사업비율(0.05), 유동성자산비율(0.075), 수지차 비율(0.075)을 사용하고 있다[2]. 본 연구에서는 경영관리항목은 객관적으로 수치화하기 어려운 비계량 항목이므로 분석에서 제외하였고, 지급여력비율 II는 지급여력비율 I의 보조지표를 사용되고 지급여력비율 I과 상관관계가 높기 때문에 이들을 제외한 8개 평가지표를 분석에 사용하였다.

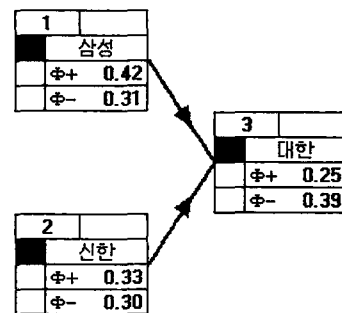
본 연구에서 사용하는 평가지표의 가중치는 경영관리항목과 지급여력비율 II가 분석에서 제외되었으므로 경영관리부문의 가중치(0.2)와 지급여력비율 II의 가중치(0.1)를 제외한 나머지 8개 평가지표의 가중치 합(0.7)을 이용하여 조정하였다. 예를 들어, 지급여력 I의 조정된 가중치는 원래의 가중치(0.2)를 8개 평가지표의 가중치 합(0.7)으로 나누어 0.29로 조정하였다.

또한 본 연구에서 사용하는 모든 평가지표는 비율척도(ratio scale)이므로, 평가자의 선호함수는 비교대안의 평가지표 점수차이와 비례하도록 [그림 1]과 같이 설정하였다. 그리고 선호함수에 대한 선호입계치(m)은 각 평가지표의 범위(range)를 사용하였다.



[그림 1] 평가지표별 선호함수

평가기준별 가중치와 선호함수가 결정되었으므로, Decision Lab 2000을 이용하여 유출량(ϕ^+)과 유입량(ϕ^-), 그리고 3개 생명보험사의 순위선택관계를 [그림 2]와 같이 도출하였다.



[그림 2] 생명보험사의 순위선택관계

[그림 2]에서 삼성생명 and 신한생명의 선호유출량은 대한생명의 선호유출량보다 크고, 선호유입량은 대한생명보다 작으므로 삼성생명 and 신한생명은 대한생명보다 우월한 관계에 있음을 알 수 있다. 그러나 삼성생명의 선호유출량은 신한생명의 선호유출량보다는 크지만 신한생명의 선호유입량은 삼성생명의 그것보다 작으므로 삼성생명 and 신한생명은 비교불가능한 관계에 있게 된다. 이러한 관계는 <표 3>의 구체적 자료를 통해서도 유추할 수 있는데, 삼성생명은 지급여력비율 I에서는 매우 우수한 성과를 보이고 있지만, 유동성자산비율과 수지차비율에서는 신한생명이 우수하게 나타나 삼성생명 and 신한생명은 서로 비교불가능한 관계에 있음을 추측할 수 있다. 따라서 평가자는 삼성생명 and 신한생명의 재무건전성을 비교하기 위해 추가 자료를 이용하여 보다 면밀한 검토를 수행할 필요가 있다.

<표 3> 평가기법별 기본가정 및 공리체계 비교

구분	MAUT	AHP	PROMETHEE
선호함수 형태	수학적 함수형태로 표현	평가자의 주관적 판단에 의존	수학적 함수형태로 표현
가중치 결정방법	사전 연구 및 의견수렴을 통하여 평가기준별 가중치 결정	이원비교행렬에 기초하여 아이겐벨류 방법을 이용하여 도출	사전 연구 및 의견수렴을 통하여 평가기준별 가중치 결정
비교대안의 평가방법	비교대안별 기대효용 산출	평가자의 주관적 판단에 의존한 이원비교 수행	내부 알고리즘에 의한 수치적 이원비교 수행
평가순위 부여방법	각 대안의 기대효용 값 크기 순서로 결정	평가기준의 가중치와 평가기준별 선호도의 가중합 크기 순서로 결정	순위선택방법을 이용하여 평가순위 결정
의사결정문제의 계층구조화	의사결정나무(decision tree)에 의한 문제의 분해 및 구조화	평가기준의 계층구조화	모형에 반영되어 있지 않음

<표 4> 국내 3개 생명보험사의 재무건전성 평가 자료

보험사	X1 (max)	X2 (min)	X3 (min)	X4 (max)	X5 (min)	X6 (min)	X7 (max)	X8 (max)
가중치	0.2	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.075	0.075
조정된 가중치	0.29	0.14	0.14	0.07	0.07	0.07	0.11	0.11
대한생명	141.1	0.95	40.2	64.74	76.12	60.27	5.89	79.21
삼성생명	317.74	0.68	56.21	47.74	66.82	66.94	1.64	79.45
신한생명	183.1	1.1	58.4	64.3	68.4	62.6	19.2	88.1
선호임계치(<i>m</i>)	176.64	0.42	18.2	17	9.3	6.67	17.56	8.89

주1) 자료출처: 각 생명보험회사 경영공시실.
 주2) 회계연도기준: 2002년 4월 ~ 2003년 3월.
 주3) X1: 지급여력비율 I, X2: 부실자산비율, X3: 위험가중자산비율,
 X4: 평균예정이율 대 총자산수익율, X5: 위험보험료 대 사망보험금비율
 X6: 예정사업비 대 총실제사업비율(0.05), X7: 유동성자산비율(0.075) X8: 수치차비율(0.075).
 주4) max는 평가지표의 값이 클수록 경영성과에 긍정적인 영향을 주는 지표를 의미하고, min은 평가지표의 값이 작을 수록 경영성과에 긍정적인 영향을 주는 지표를 의미한다.

IV. 결론

본 연구에서는 MAUT, AHP, 그리고 PROMETHEE의 기본가정 및 공리체계를 비교하고, PROMETHEE의 유용성 및 한계점을 밝혔다. 그리고 PROMETHEE의 적용과정을 구체적으로 예시하기 위해 국내 3개 생명보험사의 재무건전성을 평가하였다.

본 연구는 선호함수형태, 가중치 결정방법, 비교대안의 평가방법, 평가순위 부여방법, 의사결정문제의 계층구조화 측면에서 세 가지 다기준의사결정기법이 갖는 장단점을 비교하였으나, 이외에도 다양한 의사결정환경이 존재할 수 있으므로 이를 고려한 향후 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 본 연구는 기존의 다기준의사결정기법들의 단점을 보완할 수 있는 통합모형이 개발되어야 함을 시사하고 있다.

<참고문헌>

[1] 고길근이정전, "AHP에서의 응답일관성 모수의 통계적 특성과 활용방안", 「한국경영과학회지」, 제26권 제4호, pp. 71-82, 2001.
 [2] 금융감독원, 「보험감사매뉴얼」, 2003년.
 [3] 이명호, "MADM(다속성 의사결정 방법)에 의한 신뢰성 평가방법의 선택", 「경영학연구」, 제17권, 제2호, 1988, pp. 175-196.
 [4] Bana e Costa, C. and J. Vansnick, "A fundamental criticism to Saaty's use of the eigenvalue procedure to derive priorities," *Cashier Du LAMSADE* 275, 2000.
 [5] Belton, V. and T. Gear, "On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies," *Omega*, Vol. 11, No. 3, 1983, pp. 228-230.
 [6] Bouyssou, D., "Ranking methods for valued preference relations: A characterization of the net flow method," *European Journal of Operational Research*, Vol. 60, pp. 61-67, 1992.
 [7] Bouyssou, D. and P. Perny, "Ranking methods for valued preference relations: A characterization of a method based on leaving and entering flows," *European Journal of Operational Research*, Vol. 61, pp. 186-194, 1992.
 [8] Brans, J. and P. Vincke, "A Preference Ranking Organization method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)," *Management Science*, Vol. 31, No. 6, 1985, pp. 647-656.
 [9] Briggs, T., P. Kunsch and B. Mareschal, "Nuclear waste management: An application of the multicriteria PROMETHEE method," *European Journal of operational research*, Vol. 44, 1990, pp.1-10.
 [10] Cho, K. and C. Kwon, "Deciding on How to Decide Best," *International Journal of Management Science*, Vol. 7, No. 2, 2001, pp. 31-54.
 [11] d' Avignon, G. and B. Mareschal, "Specialization of hospital services n Quebec: An application of the PROMETHEE and GALA

methods," *Mathematical and Computer Modeling*, Vol.12, 1989, pp. 1393-1400.
 [12] Du Bois, P., J. Brans, F. Cantraine and B. Mareschal, "MEDICIS: An expert system for computer-aided diagnosis using PROMETHEE method," *European Journal of Operational Research*, Vol. 39, 1989, pp. 284-292.
 [13] Dyer, J., "Remarks on the Analytical Hierarchy Process," *Management Science*, Vol. 36, No. 3, 1990, pp. 249-273.
 [14] Eckenrode, R., "Weighting Multiple criteria," *Management Science*, Vol. 12, No. 3, 1965, pp. 180-192.
 [15] Hens, L., H. Pastijn and W. Struys, "Multicriteria analysis of the burden sharing in the European Community," *European Journal of Operational Research*, Vol. 59, 1992, pp. 248-261
 [16] Karkazis, J., "Facilities location in a competitive environment: A Promethee based multiple criteria analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol. 42, 1989, pp. 294-304.
 [17] Keeney, R., "Decision Analysis: An Overview," *Operations Research*, Vol. 30, No. 5, 1982, pp.803-838.
 [18] Keeney, R. and H. Raiffa, *Decision with Multiple Objectives Preference and Value Trade off*, New York, John Wiley&Sons, 1976.
 [19] Lootsma, F. and H. Schuijt, "The Multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in a Common Context," *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, Vol. 6, 1997, pp. 185-196.
 [20] Mareschal, B. and J. Brans, "BANKADVISER: An Industrial evaluation systems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 54, 1991, pp. 318-324.
 [21] Pirlot, M., "A Common Framework for Describing Some Outranking Methods," *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, Vol. 6, 1997, pp. 86-92.
 [22] Roy, B., "The Outranking Approach and The Foundation of ELECTRE Methods," *Theory and Decision*, Vol. 31, 1991, pp. 49-73.
 [23] Roy, B. and D. Vanderpooten, "The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works," *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, Vol. 5, 1996, pp. 22-38.
 [24] Salminen, P., J. Hokkanen and R. Lahdelma, "Comparing multicriteria methods in context of environmental problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 104, 1998, pp. 485-496.
 [25] Saaty, T., "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process," *Interfaces*, Vol. 24, No. 6, 1994, pp.19-43.
 [26] Von Neumann, J. and O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic behavior*, Princeton: Princeton University Press, 1947.
 [27] Vincke, P., *Multicriteria Decision-Aid*, Chichester, John Wiley & Sons, 1989.
 [28] Zanakis, S., A. Solomon, N. Wishart and W. Dublsh, "Multi-Attribute decision making: A simulation comparison of select method," *European Journal of Operational Research*, Vol. 107, 1998, pp. 507-529.

* 이 논문은 2003년도 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었음.