

연구개발사업 우선순위 선정기법 비교

- 다속성 효용이론(MAUT) 및 계층분석과정(AHP)을 중심으로 -

박주형*, 김정흠**

1. 서론

한정된 자원을 효율적으로 배분하기 위해 연구개발사업의 우선순위를 선정하는 문제는 여러 분야에서 오래동안 많은 관심의 대상이 되어 왔다. 연구개발의 자원배분 문제에 대해 연구기관 단위차원에서는 이미 오래전부터 논의가 되어 왔으며, 최근 과학기술계의 구조조정에 의해 국가과학기술위원회가 출범하고 연합이사회 체제가 운영되게 됨에 따라 국가 전체차원에서, 또 이사회 차원에서 논의가 활발해지고 있다.

출연연구기관에서는 정부의 지원 축소와 출연연구기관의 뚜렷한 성과를 요구하는 등 연구개발사업의 도출 및 투자사업의 우선순위 설정이 더욱 중요해지고 있다. 연구개발사업의 우선순위 설정은 출연연구기관이 확보하고 있는 유일한 연구자원인 기관고유사업의 자원을 효율적으로 배분할 수 있는 기초자료로 반드시 필요한 문제이다.

문제의 대안에 대한 우선순위 결정문제는 궁극적으로 평가자들이 주관적이고 정성적인 의견들을 객관화하고 정량화하는 문제로 귀결된다. 이를 해결하기 위한 방법으로서 수리적 차원의 접근, 문제대상 분야의 기존 지식을 이용하는 방법 및 직관적인 방법 등 많은 방법들이 제시되고 있으나, 본 논문에서는 1980년대 후반 개발되어 이러한 문제에 적용되기 시작한 MAUT(MultiAttribute Utility Theory)를 연구사업의 우선순위 선정문제에 적용시켜 보았다. 그리고 MAUT를 최근 많이 사용하기 시작하는 AHP(Analytic Hierarchy Process)와 비교해 보았다.

본 논문은 2장에서 연구개발사업의 우선순위 설정을 위해 적용한 MAUT 및 AHP의 특성과 적용절차에 관해 설명하고, 3장에서 출연연구기관 연구개발사업 우선순위 설정의 필요성과 설정방향, 그리고 본 논문에서 적용한 연구개발사업 우선순위 설정을 위해 활용할 요인들을 설명하였다. 4장에서는 문제를 정의하고 MAUT의 여러 변형중 SMART (Simple MultiAttribute Rating Technique)와 DVM(Different Value Measurement) 기법을 활용하여 우선순위를 설정하였고, AHP를 적용하여 우선순위를 도출했다. 마지막으로 이들 기법에 대한 장단점과 적용분야에 대한 사항들을 비교분석하였다.

2. 다속성 효용이론(MAUT) 및 계층분석과정(AHP) 개요

* 한국기계연구원 정책연구담당 연구원

** 한국기계연구원 정책연구담당 책임연구원, 공학박사

2.1 MAUT 특성 및 적용방법

다속성효용이론은 복잡한 의사결정과정에 대한 통찰력을 얻는데 유용하게 사용되는 방법으로 통계적 의사결정 이론으로부터 개념적인 구조를 도입하고 있으며, 심리학, 경영과학 등에서 개발된 응용기법과 실증경험을 의사결정과정에 포함한 기법이다.¹⁾

이 접근방법은 상식을 사용하기에는 너무 복잡한 문제에 대해 문제를 구성하는 여러 속성들의 가치를 정량화하여 전체적인 의사결정이 가능하도록 의사결정자를 지원하는 수단으로써 활용되어 왔다. MAUT의 장점은 첫째 정량적인 가치와 정성적인 가치의 통합이 가능하며, 둘째, 문제에 내포되어 체화된 효과(embedding effect)의 정량적 표현이 가능하며, 문제를 구성하는 속성을 세분화함으로써 문제에 내재된 소규모의 가치까지 유도해 낼수 있다. 또한 변화하는 조건에 따라 속성의 가치 변화 및 대안의 추가 등에 대해 높은 유연성을 지니고 있다.

MAUT 기법은 건설입지 선정문제, 계획의 대안선정, 직장 및 투자품목 선택 등 광범위한 의사결정문제에 적용되어 왔다. 특히 최근에는 비시장재 분야인 환경문제를 고려한 화력발전소 입지선정문제²⁾와 회사의 상황과 기술적용 분야의 속성들을 고려한 최선의 기술선정문제³⁾, 그리고 마케팅 차원에서의 소비자의 만족도를 최대화시키는 문제⁴⁾, MAUT의 사회학적 문제로의 적용방법⁵⁾ 등 다양한 형태에 적용되고 있으며, 세부적인 효용함수 및 가중치 산정과 관련된 내용⁶⁾도 많이 연구되어 왔다. MAUT의 변형된 형태라 할수 있는 Conjoint 분석은 마케팅분야 연구, 자산측정, 기업의 성과판별모형 등 많은 분야에서 상당히 많이 활용되고 있다. 그러나 아직 이 방법은 연구개발사업 우선순위 선정에 사용된 사례는 찾기가 어렵다.

MAUT 기법의 적용단계는 해당문제의 정의와 목표 및 목표를 설명할 수 있는 요인(속성)이 설정되면 ①요인(속성)의 문제에 대한 기여도를 어떤 방식으로 산정할 것인가?, ②요인별 효용함수(utility function)를 어떻게 구성할 것인가?, ③요인별 기여도와 효용함수를 어떤 모형(aggregation model)으로 취합할 것인가?에 따라 여러 형태의 변형된 방법이 제시되어 있다.

표 1. 요인별 가중치 구성방법

Judgments required	Stimuli	
	Riskless outcomes	Gambles
Numerical estimation	<i>Ranking</i> <i>Direct rating</i> <i>Ratio estimation</i> <i>Swing weights</i>	I II N.A.
Indifference	<i>Cross-attribute indifference</i> <i>Cross-attribute strength of preference</i>	III IV <i>Variable probability method</i> <i>Variable certainty equivalent method</i>

자료 : Winterfeldt and Edwards(1986)

1)허은녕(1998) 참조

2)McDaniels(1996), Hobbs(1980) 참조

3)Keeney, Lathrop and Sicherman(1985) 참조

4)Parker and Srinivasan(1976) 참조

5)Edwards(1976)

6)Dyer and Sarin(1978), Schoemaker and Waid(1982) 참조

MAUT의 방법은 대상 문제가 요구하는 판단의 형태와 위험성의 내재에 따라 구분할 수 있다. 첫 번째 요인(속성)별 기여도 산정은 위험성이 없고 수치적인 평가 문제에 대해서는 보편적으로 활용하는 우선순위 기법, 직접 점수부과법(direct rating) 등의 방법이 있고, 요인 중요도의 무차별화(Indifference)를 통한 평가 문제에서는 요인간의 무차별 방법 및 선호도의 강도에 따라 나눌 수 있다.(표 1 참조)

두 번째 요인(속성)별 효용함수는 수치적인 평가를 활용하는 방법으로 100점을 최대점으로 한 요인별 점수부여 방식(direct rating), 효용가치를 그룹으로 분류하여 함수를 작성하는 방법(category estimation) 등이 있다.(표 2 참조)

표 2. 요인별 효용함수 구성방법

Judgments required	Stimuli	
	Riskless outcomes	Gambles
Numerical estimation	<i>Direct rating</i> <i>Category estimation</i> <i>Ratio estimation</i> <i>Curve drawing</i>	N.A.
Indifference	<i>Difference standard sequence</i> <i>Bisection</i> <i>Dual standard sequence</i> <i>Sequential trade-off</i>	<i>Variable probability method</i> <i>Variable certainty equivalent</i> <i>IV method</i>

자료 : Winterfeldt and Edwards(1986)

세 번째로 문제의 대안을 평가하는 전체 효용함수의 구성 모형으로는 각 요인간의 상호의존성에 따라 가산모형(additive model), 승산모형(multiplicative model), 다선형모형(multilinear model) 등으로 구분할 수 있다.(표 3 참조)

표 3. 요인별 효용함수 취합모형

Model	Formula
Additive with linear	$v(x) = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3$
Additive	$v(x) = w_1v_1(x_1) + w_2v_2(x_2) + w_3v_3(x_3)$
Multiplicative (extended)	$v(x) = w_1v_1(x_1) + w_2v_2(x_2) + w_3v_3(x_3) + w_1w_2v_1(x_1)v_2(x_2) + w_1w_3v_1(x_1)v_3(x_3) + w_2w_3v_2(x_2)v_3(x_3) + w_1^2w_2w_3v_1(x_1)v_2(x_2)v_3(x_3)$
Multiplicative(compact)	$I + wv(x) = [I + w_1v_1(x_1)][I + w_2v_2(x_2)][I + w_3v_3(x_3)]$
Multilinear	$v(x) = w_1v_1(x_1) + w_2v_2(x_2) + w_3v_3(x_3) + w_{1,2}v_1(x_1)v_2(x_2) + w_{1,3}v_1(x_1)v_3(x_3) + w_{2,3}v_2(x_2)v_3(x_3) + w_{1,2,3}v_1(x_1)v_2(x_2)v_3(x_3)$

자료 : Winterfeldt and Edwards(1986)

본 논문에서는 MAUT의 여러 방법 중 가중치 산정을 위해 요인의 중요도 순위(ranking)를 활용하고 효용함수로 직접점수부과식(direct rating)을 활용하는 SMART (Simple MultiAttribute

Rating Technique) 기법과 가중치 산정에 요인의 선호정도(cross-attribute strength of preference)를, 효용함수로 무차별화(difference standard sequence)를 이용하는 DVM(Different Value Measurement)기법을 활용하였다.

2.2 AHP 특성 및 적용방법

Saaty(1971)에 의해 개발된 AHP는 유한한 수의 대안들을 다수의 목표에 견주어 평가하는 기법으로 개인의 주관적인 선호도를 정량적으로 환산함으로써 이해관계에 있는 문제에 대한 객관적인 평가기법으로 크게 활용되고 있다. 이 기법의 특징은 문제를 최상위 수준의 문제로부터 점차적으로 세분화된 요인을 하위수준으로 분석배치하여 계층구조를 만들고, 계층구조 내의 각 요소에 대한 상대적인 중요도를 나타내는 쌍비교행렬을 구성함으로써 최종 대안의 우선순위를 결정한다. 쌍비교 행렬로 산정되는 동일단계의 평가기준 중요도는 그대로 하위단계에 전달되게 된다.

Vargas(1990)에 의하면 AHP의 유용성은 첫째, 정성적 혹은 무형적 기준과 정량적 혹은 유형적 기준의 비율척도를 통해 측정하는데 있으며, 둘째, 큰 문제를 점차적으로 작은 요소로 분해함으로써 단순한 이원비교에 의한 판단으로 문제해결을 가능하게 하는데 있다. AHP 이론의 특성은 이원비교(pairwise comparison), 동질성(homogeneity)⁷⁾, 독립성(independence), 기대성(expectation)에 있다.

AHP 적용분야로는 경영/경제, 정치, 사회, 문화, 기술 등 주관적인 의사결정이 포함되는 모든 분야에 적용되고 있다. 경영/경제분야에서는 재정, 미시경제 예측, 마케팅, 과제기획, 입지선정, 자원배분, 정책/전략 등에 적용되고 있으며, 사회분야에서는 교육, 환경, 건강, 법률, 의학분야와 그의 기술적 문제해결을 위한 제조공정선정, 시장선정, 기술이전 등에 활용되고 있다. AHP의 응용분야에 대해 Vargas(1990)는 5개의 대분야와 37개의 세부분야로 나누어 정리하고 있으며, Zahedi(1986)의 연구에서도 27개 분야로 기존연구들을 분류하고 있다. Saaty가 운영하고 있는 Expert Choice Inc.⁸⁾ 홈페이지에서는 세계적인 저널에 수록된 1,400여편의 AHP 관련 논문 목록을 수록하고 있다.

국내의 AHP 관련연구는 대체적으로 1990년 이후부터 경영학관련 분야에서 발표되고 있다. 적용분야로는 연구기관의 중점핵심개발기술 선정(백광천 외(1993)), 연구기관 과제선정 (용세중 외(1994)), 연구투자수준 결정(백광천 외(1993), 이영찬·민재영(1995)), 연구지원기관 평가(이무신 외(1997)), 외주업체선정(김승렬·민재형(1995), 변대호(1996)) 등의 문제에 응용되고 있다.

AHP의 적용단계는 우선 대상의 문제를 정의하고 최종목표를 시작으로 문제를 계층별로 세분화해 문제를 구조화한다. 전문가 혹은 의사결정자를 대상으로 계층별 구성요인들에 대한 쌍비교를 실시하고, 쌍비교 내용을 바탕으로 계층별 eigen vector를 활용해 문제 대안의 우선순위를 결정하게 된다. AHP 적용시 쌍비교의 일관성 검정을 위해 필요한 C.R.(Consistency Ratio)와 여러 전문가의 의견을 취합할 수 있는 방법에 대해서는 관련문헌⁹⁾을 참고하기 바란다.

7)중요성의 정도는 한정된 범위내의 정해진 척도(equal importance, weak importance, strong importance, very strong importance, absolute importance)를 통해 표현됨.

8)AHP 관련 소프트웨어 업체, <http://www.expertchoice.com/> 참조

9)Saaty(1980) 참고

본 논문에서는 AHP의 적용단계에 따라 대안 우선순위를 결정하였고, Saaty(1980)가 제시한 C.R.이 0.1이하가 되도록 쌍비교를 반복하였다. 여러 전문가의 의견 취합은 Saaty(1980)가 제시한 기하평균(geometric mean)을 활용하였다.

3. 출연연구기관 연구개발사업 우선순위 설정

3.1 필요성 및 설정방향

최근 과학기술계의 구조조정에 따라 출연연구기관은 중복투자 부문을 배제하고, 각 기관의 전문화·특성화 연구분야를 심화해 경쟁력 있는 연구기관으로의 성장에 초점을 맞추고 있다. 특히 연합이사회의 출범에 따라 출연연구기관의 고객이 다변화되고, 연구개발사업의 수주를 위한 산업계 및 학계와의 자유경쟁을 실시해야 하는 등 다소 어려운 상황에 처함에 따라 출연연구기관은 그동안의 연구개발실적과 인력, 장비를 활용한 경쟁력 있는 연구개발사업 도출의 필요성이 더욱 심화되고 있다.¹⁰⁾

출연연구기관은 특성상 특별한 연구재원을 확보하고 있지 못한 상황에서 연구개발사업의 우선순위를 선정하여 적용한다는 것이 비현실적인 것으로 생각될 수 있다. 그러나, 출연연구기관이 처한 상황에서 연구기관의 역할·기능 정립과 존립을 위해서는 연구기관의 역량을 집중하여 추진해야 할 연구개발사업을 도출하고 그 우선순위에 따라 연구재원 확보와 사업추진을 위한 연구역량 및 자원을 체계적으로 배분함으로써 연구생산성 향상을 극대화 할 수 있다. 또한 출연연구기관의 유일한 연구재원인 기관고유사업의 자원배분에도 기본방향을 제시해 줄 수 있다.

출연연구기관이 전략적으로 추진해야 할 연구개발사업은 우선 출연연구기관이 사업을 주도해야 할 합당한 당위성과 논리를 갖추어야 하며, 모든 연구부서들이 참여한 연구기관 차원의 대형사업이어야 한다. 또한 그동안의 연구결과를 바탕으로 뚜렷한 연구성과를 달성할 수 있는 사업이면서, 기술적·경제적으로 파급효과가 지대해 사업추진 연구기관의 위상을 높이는 사업을 발굴하고 선정하는 것 등을 기본원칙으로 삼아야 한다.

따라서, 사업 우선순위 설정을 위해서는 이러한 기본원칙을 충분히 반영하는 연구개발사업 도출·선정체제를 마련하는 것이 기본적으로 필요하다.

3.2 우선순위 평가요인

출연연구기관의 연구개발사업 우선순위 설정을 위해 본 논문에서는 우선순위 설정의 기본방향에 입각하여 6개의 요인(factors) - ①간판과제 당위성, ②재원확보 가능성, ③기술파급효과, ④성공가능성, ⑤사업참여범위, ⑥사업목표 및 내용의 명료성 - 을 선정하였다.

간판과제로서의 당위성은 연구기관의 전문화분야와의 일치성, 연구사업의 규모 및 연구사업의 수행결과 연구기관의 위상과 대국민 차원의 기관에 대한 인식을 부각시킬 수 있는 연구원 간판과

10)김정흠 외(1998) 참조

제로서의 타당성 정도를 말하며, 재원확보의 가능성이란 사업추진에 필요한 재원의 안정적인 확보 가능성 정도를 말한다. 기술과급효과는 연구수행 결과의 국가차원에서의 기술적·경제적 중요성 정도를, 성공가능성은 사업수행 연구기관이 보유한 기술, 노하우, 인력 등 축적된 인프라수준을 바탕으로 한 사업의 성공수준을, 사업참여 범위는 추진사업과 관련해 연구기관 내부 부서의 참여 범위를, 사업목표 및 내용의 명료성은 추진사업의 명확한 목표설정과 연구대상 및 단계별 내용의 구체성 정도를 나타낸다.

본 논문에서 고려한 평가요인은 상호 독립적인 요인으로 가정하였고, MAUT 적용시 요인별 정량적 측정을 위해 간판과제의 당위성 요인은 9점척도를 활용하였고, 재원확보가능성 및 성공가능성 요인은 퍼센트 비율을 활용하였다. 사업참여범위 요인은 사업에 참여하는 연구부서의 수를, 기술과급효과 및 사업목표 및 내용의 명료성 요인에 대해서는 정성적 평가(Very Poor, Poor, Fair, Good, Very Good)를 활용하였다.

4. MAUT 및 AHP 적용

4.1 문제의 정의 및 모형

과학기술계의 구조조정과 연합이사회체제 출범에 따라 A 출연연구기관은 그동안의 전문화·특성화 연구분야를 재조정하고 연구기관의 경쟁력을 제고시키기 위해 앞으로 전략적으로 추진해야 나갈 연구개발사업을 도출·선정하고자 한다.

전략적 대형연구개발사업은 전문화 연구분야를 중심으로 연구기관을 대표하는 8개 사업이 도출되었고, 사업 도출에서부터 검토·평가에 이르기까지 Task Force팀에 참여한 8명의 전문가가 사업 우선순위 설정을 위한 평가자로서 참여하였다. 우선순위 설정을 위한 평가요인은 3장에서 언급한 6개의 요인을 선택했으며, 설문지를 통해 각 요인별 중요도 순위(ranking), 직접점수산정(direct rating) 및 쌍비교를 실시하였다.

$$\text{가산모형} : U(X) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i)$$

표 4. 적용기법별 세부 구성내용

적용기법	MAUT		AHP
	SMART	DVM	
가중치 산정	Ranking (Ratio Estimation)	Cross-attribute strength of preference	쌍비교
효용함수	Direct Rating	Different Standard Sequence	-
Aggregation Model	Additive	Additive	Eigen Vector 곱

본 문제에 적용한 기법들은 MAUT의 SMART(Simple MultiAttribute Rating Technique)와 DVM(Different Value Measurement) 기법, 그리고 AHP 방법을 활용하였다. 이들의 기법은 동일

한 조건하에서 각 기법별로 활용되는 가중치 산정방법과 요인별 효용함수의 형성 방식에 차이가 있으며, 6개 요인별 정량적 가치 합산방법은 모든 요인이 상호독립이라는 가정하에서 가산모형(additive model)을 활용하였다.

4.2 SMART(Simple MultiAttribute Rating Technique)

SMART는 여러 분야의 우선순위 설정을 위해 사용되는 가장 간편하고 실무에 많이 응용되고 있는 기법이다. 본 문제에 적용한 SMART 기법은 MAUT 적용순서에 따라 문제에 접근하였다.

각 평가요인에 대한 가중치는 평가요인의 우선순위를 활용한 rank sum rule을 적용하여 산정하였다. 이 rule은 순위에 따라 요인의 중요도가 등간격으로 계산된다 (표 5 참조)

$$\text{rank sum rule } W_i = \frac{(n+1 - R_i)}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

표 5. 각 요인별 ranking 및 가중치

요 인	간판과제	채원확보	기술과급	성공가능성	참여범위	사업목표
순 위	3	2	6	1	5	4
가중치	0.190	0.238	0.048	0.286	0.095	0.143

SMART 기법에서의 각 요인별 효용함수 작성은 우선 최종목표를 설명하는 요인에 대한 최대·최소 범위를 설정하고 최소 범위의 효용가치를 0로, 최대 범위의 효용가치를 100으로 설정한후 최대·최소 범위에 대한 효용가치를 직접 점수화하여 함수화한다. 이에따라 본 논문에서는 참여 전문가의 의견을 바탕으로 요인별 효용함수를 <그림 1>과 같이 작성하였다.

간판과제 당위성의 효용함수는 9점척도를 활용하여 최고 9점은 100, 최저 1점은 0을, 3점은 10을, 6점은 중간인 50을, 8점은 90을 설정하고 나머지 값에 대해서는 보간법을 활용하였다. 같은 방법을 활용해 모든 효용함수는 부분선형함수 형태를 취하였다.

표 6. 요인 수행도(performance measure) 측정기준 및 범위결정

요 인	Performance Measure	$x_{i,\min}(u_{i,\min}=0)$	$x_{i,\max}(u_{i,\max}=100)$
간판과제	9점척도	1	9
채원확보	비율(퍼센트)	10	80
기술과급	VP, P, F, G, VG	VP	VG
성공가능성	비율(퍼센트)	20	90
참여범위	사업참여 부서수	$1(u_{i,\min}=10)$	7
사업목표	VP, P, F, G, VG	VP	VG

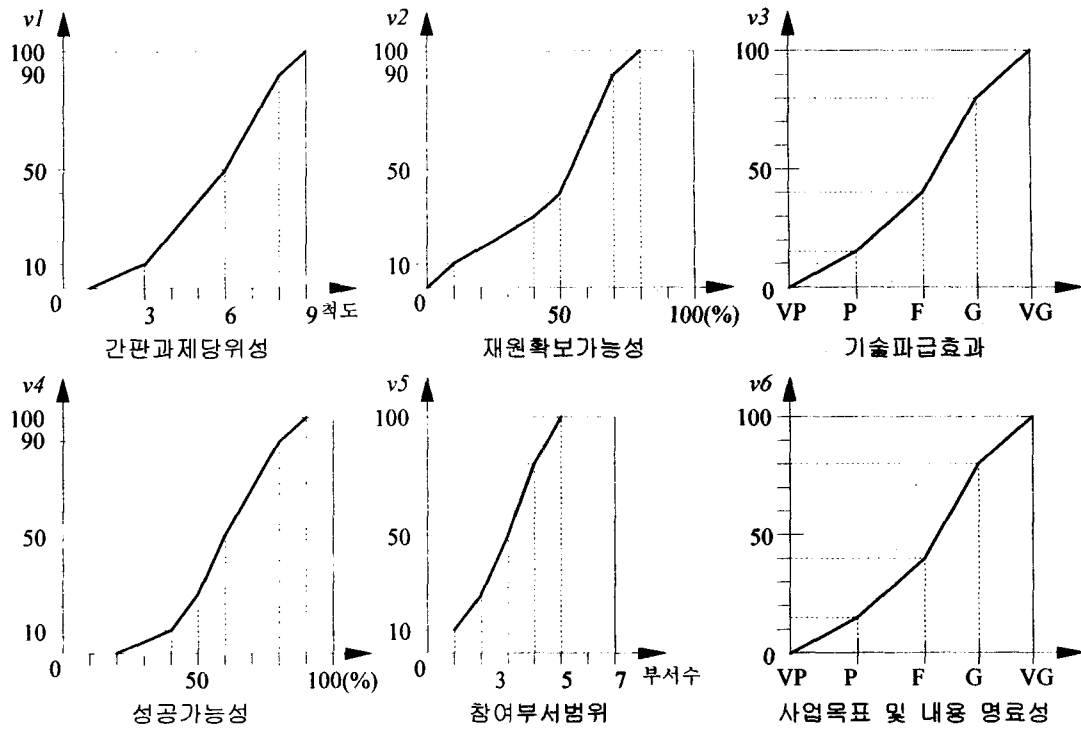


그림 1. SMART 기법 적용의 요인별 효용함수

SMART 기법을 통해 산출된 평가모형은 다음과 같다.

$$U(x) = 0.190u_1(x_1) + 0.238u_2(x_2) + 0.048u_3(x_3) + 0.286u_4(x_4) + 0.095u_5(x_5) + 0.143u_6(x_6)$$

각 사업별로 적용될 요인별 함수값은 전문가들이 각 사업별로 평가한 내용을 산술평균한 값으로 각 요인별 효용가치를 정량화하였다. SMART를 적용한 문제의 전반적인 결과와 우선순위는 < 표 7>에 정리하였다. 우선순위는 A > E > H > C > F > G > B > D 순으로 나타났다.

표 7. 각 연구사업별 SMART 적용 결과

평가요인	간판과제	자원확보	기술파급	성공가능	참여부서	사업목표	총계	순위
가중치	0.190	0.238	0.048	0.286	0.095	0.143	1.000	
A사업	91.25	97.50	80	70.00	10	90	78.22	1
B사업	31.67	65.00	60	40.63	50	40	46.46	7
C사업	36.67	65.00	60	55.00	80	80	60.09	4
D사업	35.00	43.75	60	40.63	25	60	42.52	8
E사업	80.00	93.75	90	55.00	50	90	75.23	2
F사업	48.33	43.75	80	43.75	50	80	52.14	5
G사업	36.67	47.50	60	62.50	50	40	49.50	6
H사업	55.00	49.38	80	68.75	80	60	61.88	3

4.3 DVM(Different Value Measurement)

DVM 기법은 MAUT의 일반화된 기법으로 효용가치의 무차별화를 이용해 효용함수와 가중치를 설정하는 방법이다. DVM에서 활용하는 무차별성(Indifference)은 각 요인 혹은 요인내에서의 특정값이 지나는 효용과 동일 값이나 비율을 설정함으로써 가중치 효용함수를 작성하게 된다.

예를들면 A요인의 가치와 B요인의 가치를 상호 비교할 경우 A요인이 B요인보다 중요하다면 얼마만큼 중요한가에 대한 문제가 생긴다. 이를 전문가 혹은 의사결정자의 판단에 따라 그 정도를 결정하게 되는데, 만약 A : B = 0.6 : 1이라면 B요인의 한단위 중요도는 A요인의 0.6단위 중요도와 동일하다는 판단을 할 수 있다.

DVM 기법에서의 요인 수행도 측정기준은 SMART에서 적용한 것과 동일하며, 각 요인별 효용함수 작성은 우선 최종목표를 설명하는 각 요인에 대해 독립변수의 변화에 따른 상대적 가치와 동일한 가치를 가지는 값을 결정함으로써 효용함수를 작성하였다. 즉 재원확보가능성이 0%에서 10%일 때 효용가치가 1이라면 동일한 효용가치를 가지는 독립변수의 점은 30%이며, 10%에서 30%로 상승할때의 효용가치(=2)와 동일한 독립변수의 값은 50%(=3) 등과 같은 방식을 반복함으로써 효용함수를 작성하였다.

전문가의 의견을 바탕으로 요인별 효용함수를 <그림 2>와 같이 작성하였다.

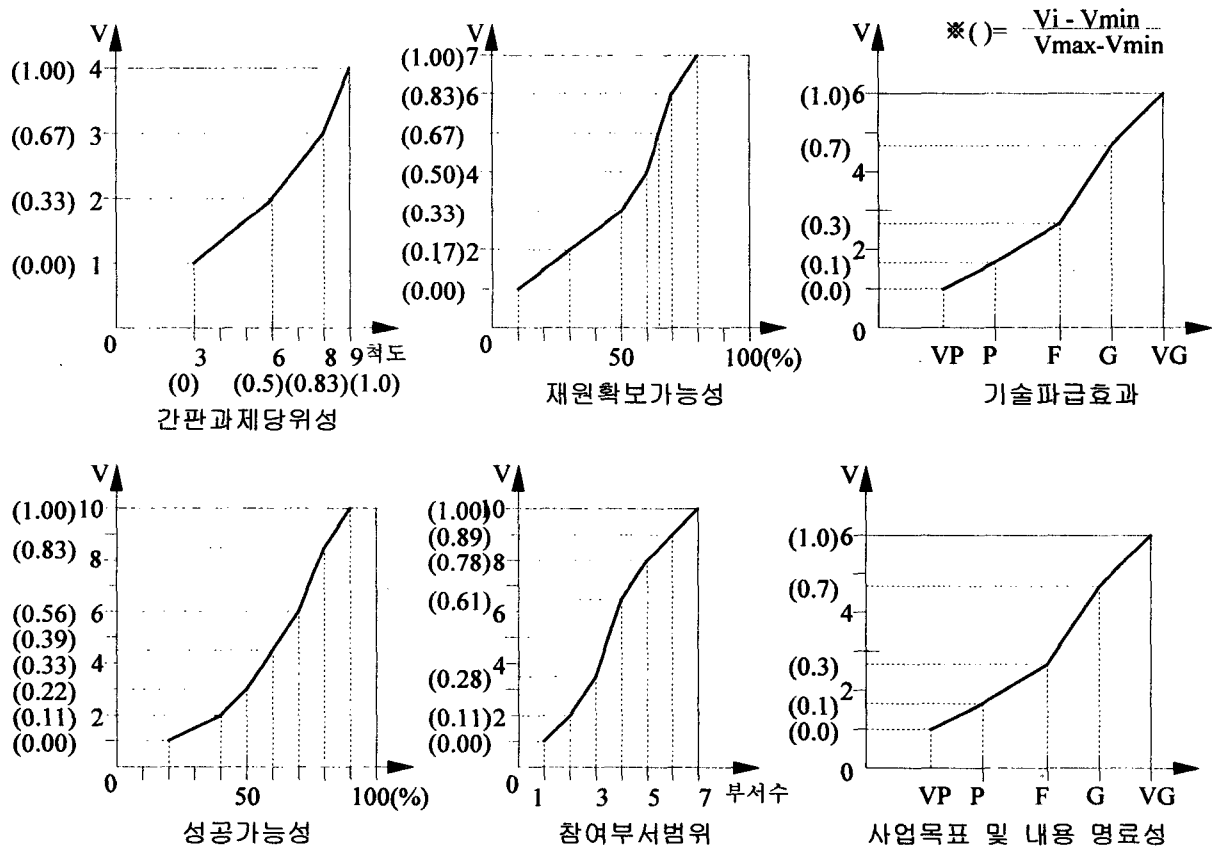


그림 2. DVM 기법 적용의 요인별 효용함수

DVM 기법의 가중치 산정은 요인의 중요도에 따라 우선순위를 결정하고 요인의 순위별로 상호 요인간의 중요도를 무차별화해 나간다. 요인별 우선순위는 SMART기법에 적용된 순위를 활용하였

고, 요인 중요도의 무차별화를 위해 <표 8>과 같이 요인간의 비교를 실시하였다. 성공가능성의 0.9 단위는 재원확보를 1단위와 동일한 가치를 가진다는 의미이다.

DVM 기법의 요인별 가중치는 SMART 기법의 등간격 가중치와는 달리 요인의 중요도에 따라 가중치의 폭이 다양함을 알수 있다. 그러나 이 방법은 단 한번의 요인간 무차별화에 전적으로 의존해야한다는 위험성을 가지고 있다.

표 8. 요인별 가치의 무차별화를 통한 가중치 산정

성공가능성	재원확보	간판과제	사업목표	참여범위	사업목표	
0.9	1.0					$w_1u_1(0.9)-w_2=0$
	0.7	1.0				$w_2u_2(0.7)-w_3=0$
		0.7	1.0			$w_3u_3(0.7)-w_4=0$
			0.9	1.0		$w_4u_4(0.9)-w_5=0$
				0.6	1.0	$w_5u_5(0.6)-w_6=0$
						$w_1+w_2+w_3+w_4+w_5+w_6=1$
0.350	0.282	0.137	0.085	0.075	0.071	가중치 산정

다속성 효용함수의 모형은 각 요인의 독립이라는 가정하에 가산함수를 활용하여 전체효용함수를 아래와 같이 작성하였다.

$$U(x) = 0.137u_1(x_1) + 0.282u_2(x_2) + 0.071u_3(x_3) + 0.350u_4(x_4) + 0.075u_5(x_5) + 0.085u_6(x_6)$$

각 전문가들이 각 사업별로 평가한 내용을 산술평균하여 다속성 효용함수의 모형에 적용한 결과 <표 6>과 같은 결과를 도출하였다. DVM을 통해 나타난 연구개발사업의 우선순위는 A > E > C > H > G > F > B > D 순이다.

표 9. 각 연구사업별 DVM 적용 결과

평가요인	간판과제	재원확보	기술과급	성공가능	참여부서	사업목표	총계	순위
가중치	0.137	0.282	0.071	0.350	0.075	0.085	1.000	
A사업	0.806	0.972	0.784	0.624	0.091	0.832	0.736	1
B사업	0.335	0.588	0.588	0.456	0.474	0.364	0.480	7
C사업	0.387	0.588	0.540	0.535	0.680	0.712	0.556	3
D사업	0.366	0.396	0.476	0.456	0.240	0.572	0.422	8
E사업	0.670	0.926	0.796	0.535	0.474	0.832	0.703	2
F사업	0.480	0.396	0.700	0.474	0.474	0.664	0.485	6
G사업	0.387	0.460	0.540	0.552	0.474	0.460	0.489	5
H사업	0.521	0.481	0.736	0.487	0.680	0.604	0.532	4

4.4 AHP (Analytic Hierarchy Process)

AHP는 문제를 계층화·세분화하고, 최종목표에 대해 세분화된 문제를 평가하여 통합함으로써 대안을 평가하는 접근방법이다.

AHP 기법을 적용하기 위해 문제의 최종목표를 연구개발사업 우선순위 선정으로 설정하고 하위 중간계층으로 6개의 평가요인을 1개의 계층으로 단일화하고 8개의 사업을 대안으로 하는 문제를 구성하였다 (그림 3 참조).

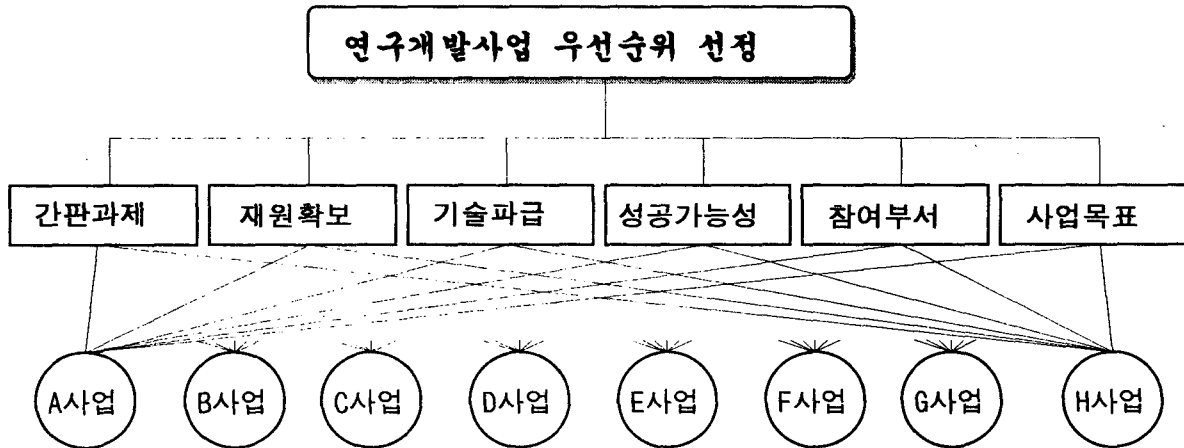


그림 3. 연구개발사업 우선순위 설정을 위한 문제의 계층화

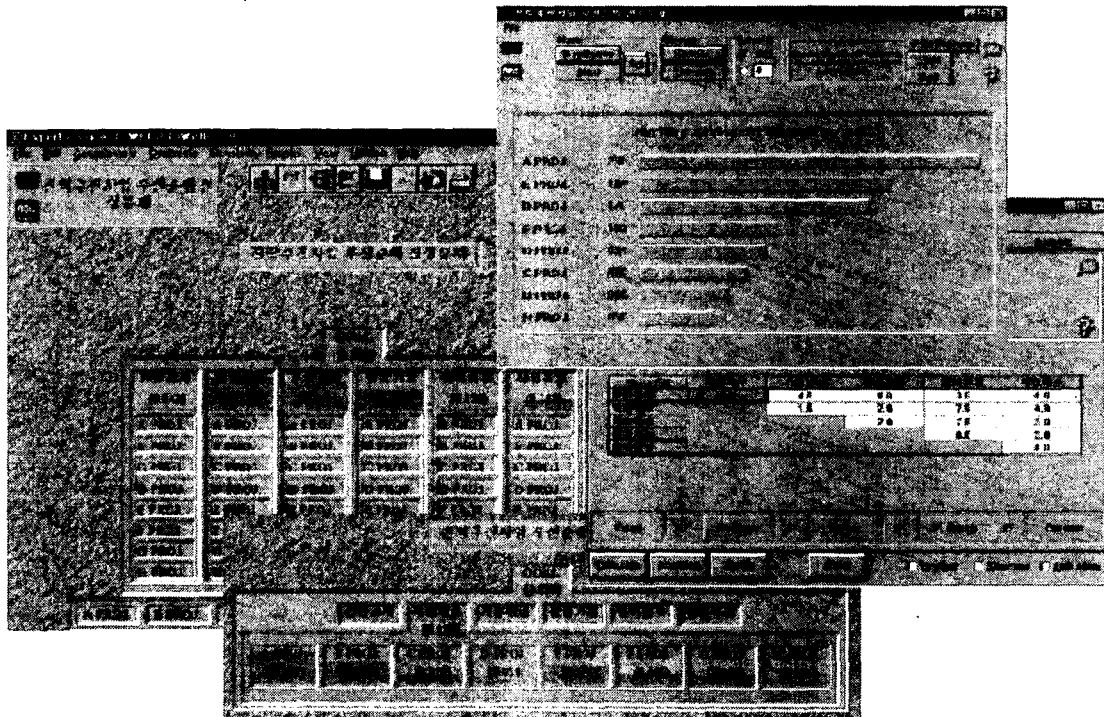


그림 4. ExpertChoice 9.0을 활용한 AHP 수행

문제 해결을 위해 가장 중요한 쌍비교를 각 계층별로 실시하였다. 첫 번째 계층에서는 최종목표를 기준으로 6개의 요인을 대상으로 쌍비교를 실시하였고, 사업으로 구성된 계층에서는 각 요인을 기준으로 8개의 사업에 대해 전문가를 대상으로 쌍비교를 실시하였다.

쌍비교를 통해 얻은 계층별 행렬의 일관성 비율(C.R. : Consistency Ratio)은 Saaty가 제시한 채택범위인 0.1이하가 되도록 쌍비교를 반복 실행하여 평가의 오류를 최소화하였다. 각 계층별 eigen vector의 산출과 이를 통한 사업의 우선순위 설정은 ExperChoice9.0¹¹⁾ 소프트웨어를 이용하였다 (그림 4 참조)

전문가 8명이 쌍비교한 평가자료를 바탕으로 개개인의 사업에 대한 우선순위를 평가하였고, 이를 모두 통합하기 위해 Saaty가 제시한 기하평균(geometric mean)을 활용해 우선순위를 결정하였다.

표 10. 각 연구사업별 AHP 적용 결과

평가요인	A사업	B사업	C사업	D사업	E사업	F사업	G사업	H사업	C.R.
전문가1	0.228	0.050	0.202	0.079	0.143	0.127	0.050	0.050	0.05
전문가2	0.216	0.072	0.061	0.115	0.219	0.086	0.112	0.118	0.07
전문가3	0.221	0.062	0.128	0.063	0.219	0.179	0.051	0.077	0.06
전문가4	0.246	0.060	0.133	0.124	0.118	0.076	0.086	0.158	0.06
전문가5	0.249	0.068	0.101	0.070	0.250	0.067	0.085	0.110	0.05
전문가6	0.180	0.073	0.152	0.101	0.182	0.081	0.106	0.125	0.07
전문가7	0.179	0.108	0.128	0.056	0.191	0.099	0.131	0.108	0.06
전문가8	0.250	0.170	0.080	0.066	0.184	0.102	0.094	0.055	0.05
전체평가	0.228	0.080	0.121	0.084	0.191	0.101	0.088	0.107	-
우선순위	1	8	3	7					

평가요인	간판과제	재원확보	기술과급	성공가능	참여범위	사업목표
가중치	0.210	0.261	0.063	0.269	0.091	0.106

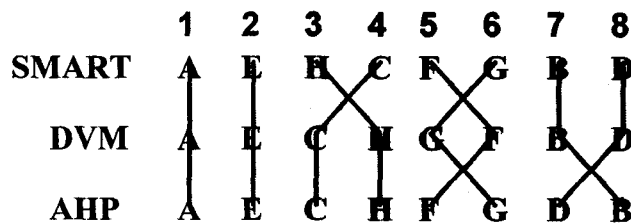


그림 5. 기법별 연구개발사업 우선순위 결과

AHP 기법을 통해 나타난 연구개발사업의 우선순위는 A > E > C > H > F > G > D > B 순이다. AHP를 적용한 최종결과는 <표 10>에 정리하였다.

11)ExpertChoice Company에서 판매하고 있는 ExperChoice9.0 Demo Version 활용

연구개발사업의 우선순위 설정을 위해 MAUT방법인 SMART, DVM과 AHP 방법을 활용하여 대안의 우선순위를 설정하였다. 분석결과 <그림 5>와 같이 1, 2위 사업을 제외하고는 부분적으로 한 순위씩 바뀌는 결과를 낳았다.

4.5 장단점 비교

본 논문에서 연구개발사업 우선순위 설정에 적용한 기법들은 각각의 장단점에 따라 다양한 문제에 활용할 수 있다.

SMART 기법은 현재 일상실무에서 사용하는 친숙한 기법으로 단순하고 신속한 의사결정에 사용할 수 있으며, 새로운 대안 생성시 대안의 평가가 용이한 장점을 지닌 반면, ranking을 통한 가중치 산정으로 요인의 중요도를 합리적으로 반영하지 못하며, 100점 기준 평가를 위해 요인의 최대·최소구간의 설정이 필요한 단점을 지닌다. 또한 SMART는 모든 요인이 서로 독립적이라는 것을 가정하기 때문에 상호의존적 관계에 있는 요인에는 적용하지 못한다. 따라서 SMART는 모든 요인이 상호독립인 문제와 신속하고 대략적 우선순위 결정문제에 적용할 수 있다.

DVM은 문제를 구성하는 요인별 효용함수를 문제의 상황에 따라 구성하여 적용함으로써 요인별 효용을 충분히 반영할 수 있으며, 비독립적인 요인들에도 적용가능하고, SMART와 달리 요인별 최대값을 설정할 필요가 없는 장점을 지닌다. 그러나 요인의 수가 증가할 때 문제적용이 복잡하고, 객관적인 효용함수 작성에 많은 시간이 필요하다는 단점이 존재한다. 따라서 DVM은 요인의 수가 적은 분야와 효용가치의 측정이 용이한 분야에 쉽게 적용할 수 있다.

AHP는 문제자체를 계층화·세분화함으로써 문제를 구성하는 요인의 배치로 합리적으로 실시할 수 있고, 쌍비교의 일관성 검정을 통한 오류정보의 배제 및 요인의 중요도에 대한 객관성, 신뢰성을 지니는 등 문제 평가에 대한 전반적 일관성이 매우 높다. 반면 수리적인 학문을 배경으로 하고 있어 계산이 복잡하고 이에따른 사용자의 거부반응이 나타날 수 있다. 또한 요인의 증가는 쌍비교 회수를 기하급수적으로 증가시키며, 쌍비교의 일관성을 위해 동일한 쌍비교를 반복해서 수행해야하는 경우가 발생하게 된다. 기존의 문제에 새로운 대안이 생성될시 AHP문제를 처음부터 다시 적용해야 한다는 점이 큰 단점이다.

표 11. 기법별 장단점 비교

구 분	SMART	DVM	AHP
장 점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 단순한 적용방법 ○ 신속한 의사결정 ○ 일반사용자에게 친근감 부여로 활용가능성 높음 ○ 새로운 대안 생성시 적용 쉬움 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 요인의 효용가치를 구별하여 평가에 반영 ○ 비독립적인 요인들에 적용가능 ○ 요인(속성)의 독립변수 구간 제한없음 ○ 새로운 대안 생성시 적용 쉬움 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 문제를 계층화·세분화하여 문제로의 체계적 접근 ○ 오류정보의 filtering 기능을 지님 ○ 요인 중요도의 객관성, 신뢰성 지님 ○ 문제 전체에 대한 평가의 일관성 보유
단 점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 요인(속성)의 최대·최소구간 설정필요 ○ Performance Measure 설정문제 ○ Additive Model에 국한 ○ 등간격 가중치 산정으로 요인의 중요도 충분히 반영 못함. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 문제적용시 복잡함 ○ 요인의 수가 많을시 적용 힘들 ○ 효용함수 작성에 많은 시간 소요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계산의 복잡성 ○ S/W적용 필요 ○ 요인 및 대안수 증가에 따라 쌍비교 급증 ○ 쌍비교의 피드백 회수 증가 ○ 새로운 대안 생성시 AHP문제 다시적용 ○ 수리적 접근으로 인한 사용자의 거부반응
적용분야	<ul style="list-style-type: none"> ○ 요인간 상호독립 하의 문제 ○ 신속, 대략적 우선순위 선정문제 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 요인(속성)의 수가 적은 분야 ○ 효용가치의 측정이 용이한 분야 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 복잡도가 높은 문제 ○ 정밀한 의사결정을 요하는 문제 ○ 대안수가 적은 문제
Aggregation Model	<ul style="list-style-type: none"> ○ Additive 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Additive ○ Multiplicative ○ Multilinear 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 쌍비교를 통한 eigenvector

따라서 AHP는 복잡도가 높아 문제를 계층적으로 세분화하여 해결해야 하는 문제나 객관적이고 정밀한 의사결정을 요하는 문제, 그리고 대안의 수가 적은 문제에 적용할 수 있다.

각 기법별 장단점은 <표 10>에 정리하였다.

5. 결론

본 연구는 연구개발사업을 대상으로 MAUT 기법중 SMART와 DVM 적용가능성을 사례를 통해 검증하였으며, 기존에 많이 사용되는 AHP와 특성을 비교하였다.

연구개발사업 우선순위 평가를 위해 도출된 6개 평가요인 - ①간판과제 당위성, ②재원확보 가능성, ③기술과급효과, ④성공가능성, ⑤사업참여 범위, ⑥사업목표 및 내용의 명료성 -에 대해 각

기법별로 가중치와 효용함수를 도출하여 8개 사업에 대한 우선순위를 정량적으로 평가하였다.

SMART 기법은 현재 일상실무에서 사용하는 scoring기법과 유사한 기법으로 단순하고 신속하여 실무사용자 측면에서는 활용하기 용이하나, 각 요인별 순위활용시 가중치가 등간격으로 요인의 중요도를 정확히 반영하지 못하는 등 이해 당사자들을 설득시키기에는 다소 부족한 기법이다. 반면 DVM 기법은 SMART 방법과 유사하나 각 요인의 효용가치를 충분히 평가에 반영할 수 있다는 장점에 비해 문제의 적용과정이 복잡하다는 단점이 있다. AHP는 평가의 일관성, 신뢰성 측면에는 큰 장점이 있으나, 문제의 구성에 따른 쌍비교 회수와 일관성 비율을 고려할 때 많은 시간이 소요된다.

연구개발사업의 우선순위 평가는 사업의 특성과 후보사업의 수에 따라 적용하는 기법을 달리 해야 할 것이다. 일반적으로 MAUT는 각 요인별 효용함수를 만들어 냄으로써 각 요인에 대한 평가자들의 효용을 구체적 형태를 알 수 있게 해 준다는 점이 가장 큰 장점이며, 반면에 AHP는 쌍비교를 통해 일관성 있고 객관적인 요인별 가중치를 선정하는데 그 특성이 나타난다.

이러한 MAUT와 AHP의 장점을 활용한 혼합모형이 개발되면 요인 가중치 산정에 있어 객관적이고 일관된 특성을 지니면서, 문제를 구성하는 요인에 대한 대안의 효용을 측정할 수 있는 방법으로 우선순위 선정에 매우 유용할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김성철, 어하준(1994), "AHP 가중치 결정에서의 다수 전문가 의견종합 방법", 「한국경영과학회지」, 제 19권 제 3호, pp. 41~49.
2. 김승렬, 전희숙(1995), "AHP를 이용한 소프트웨어 외주업체 선정방안에 관한 연구", 「경영과학」, 제 12권 제 2호, pp. 15~30.
3. 김정흠 외(1998), 「한국기계연구원의 연구개발 방향 정립에 관한 연구」, 한국기계연구원.
4. 백광천, 서의호, 서창교, 이영민(1993), "R&D투자 모형결정 및 자원배분에 관한 연구: 한국통신의 TOP 기술발전전략을 중심으로" 「경영과학」, 제 10권 제 1호, pp. 81~105.
5. 변대호(1996), "AHP를 이용한 자동차 구입모델 선정에 관한 연구", 「경영과학」, 제 13권 제 3호, pp. 75~90.
6. 이무신, 엄기용, 신용운(1997), "연구지원기관의 성과평가에 관한 연구 : 한국과학재단에 대한 평가항목을 중심으로", 「경영과학」, 제 14권 제 1호, pp. 177~203.
7. 이영찬, 민재형(1995), "불확실한 상황하에서의 다목적 R&D 투자계획수립에 관한 연구 : 최적화 기법과 계층화 분석과정의 통합적 접근방안을 중심으로", 「한국경영과학회지」, 제 20권 제 2호, pp. 39~60.
8. 허은녕(1998), "환경오염 저감의 경제적 가치분석", 한국기술혁신학회 하계 콜로кви엄.
9. Parker, Barnett R. and V. Srinivasan(1976), "A Consumer Preference Approach to the Planning of Rural Primary Health-Care Facilities", *Operations Resrarch*, Vol. 24, No. 5, pp. 991~1025.
10. Edwards, Ward(1977), "How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decisionmaking", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, May, pp. 326~

11. Expert Choice, Inc. <http://www.expertchoice.com/>
12. Hobbs, Benjamin F.(1980), "A Comparison of Weighting Methods in Power Plant Siting", *Decision Science*, Vol. 11, No. 4, pp. 725~737.
13. Johnson, Edgar M. and George P. Huber(1977), "The Technology of Utility Assessment", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, May, pp. 311~325.
14. Keeney, Ralph L. and John F. Lathrop and Alan Sichertman(1986), "An Analysis of Baltimore Gas and Electric Company's Technology Choice", *Operation Research*, Vol. 34, No. 1, pp. 18~39.
15. McDaniels, Timothy L.(1996), "A Multiattribute Index for Evaluating Environmental Impacts of Electric Utilities", *Journal of Environmental Management*, Vol. 46, pp. 57~66.
16. Saaty, Thomas L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGRAW-HILL.
17. Schoemaker, Paul J. H. and C. Carter Waid(1982), "An Experimental Comparison of Different Approaches to Determining Weights in Additive Utility Models", *Management Science*, Vol. 28, No. 2, pp. 182~195.
18. Vargas, Luis G.(1990), "An Overview of the Analytic Hierarchy Process and Its Applications", *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 2~8.
19. Winterfeldt, Detlof V. and Ward Edwards(1986), *Decision Analysis and Behavioral Research*, Cambridge University Press.
20. Zahedi, Fatemeh(1986), "The Analytic Hierarchy Process-A Survey of the Method and Its Applications", *INTERFACES*, Vol. 16, No. 4, pp. 86~108.